

D I P L O M A D O

# Eficiencia energética y energías limpias



**OPEN**

OPORTUNIDADES  
DE MERCADO PARA  
ENERGÍAS LÍMPIAS  
Y EFICIENCIA  
ENERGÉTICA

Programa OPEN - Cámara de Comercio de Bogotá

# **CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA**

**Tecnología en Fuentes renovables: energía solar, eólica, biocombustibles**



**GRUPO DE INVESTIGACION EN MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO Y GESTION ENERGETICA**

**Dr.-Ing. Msc. Fabio E. Sierra V.**  
**Universidad Nacional de Colombia**

[fesierrav@unal.edu.co](mailto:fesierrav@unal.edu.co)

# GENERALIDADES



# DESARROLLO SOSTENIBLE

Consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.



# EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MEDIO AMBIENTE

Reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.



# FACTORES DE USO DE LA ENERGIA- DESARROLLO SOSTENIBLE



**EQUITATIVO**

**VIABLE**

**SOPORTABLE**



La Ley 143/94 en el *Artículo 16* y el Decreto, establece las funciones de la UPME, entre ellas:

- a) Establecer los **requerimientos energéticos** de la población y los agentes económicos del país.
- b) Establecer la **manera de satisfacer** dichos requerimientos teniendo en cuenta los recursos energéticos existentes.
- c) **Elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional** y, el Plan de Expansión del sector eléctrico en concordancia con el Proyecto del Plan Nacional de Desarrollo.
- d) **Evaluar la rentabilidad económica y social** de las exportaciones de recursos mineros y energéticos.



- e) Evaluar la **conveniencia económica y social** del desarrollo de fuentes y usos energéticos no convencionales.
- f) Realizar **diagnósticos** que permitan la formulación de planes y programas del sector energético.
- g) Establecer y operar **mecanismos y procedimientos** que permitan evaluar la oferta y demanda de los recursos energéticos y determinar las prioridades para satisfacer los requerimientos.
- h) **Recomendar** al Ministro de Minas y Energía, **políticas y estrategias** para el desarrollo del sector energético.
- i) **Prestar servicios técnicos** de planeación y asesoría.
- j) Establecer un **programa de ahorro y optimización** de energía.



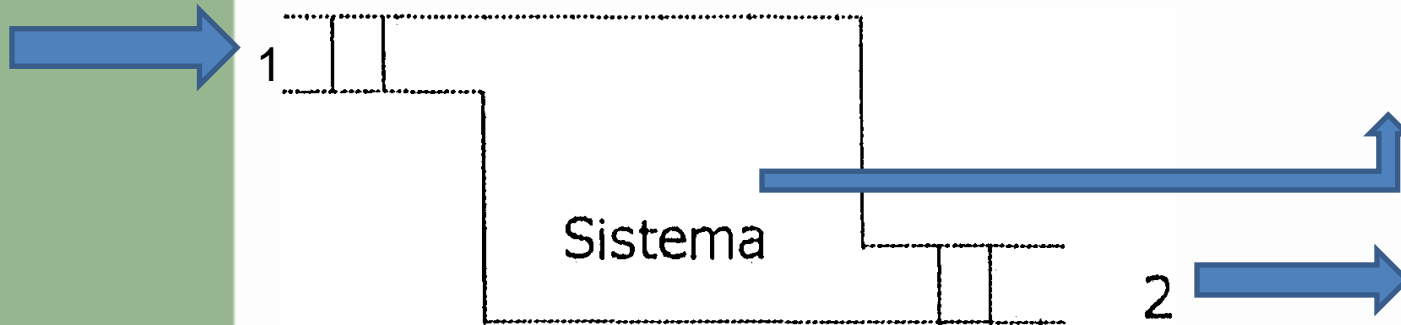


## **SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS (SISEA)**

**Contiene información sobre Fuentes No Convencionales de Energía (Estudios sobre potencialidades del sol, viento, biomasa y geotermia).**

**Presenta información sobre la formulación del Plan de Suministro de Energía de las ZNI y permite consultar datos y estudios sobre el Uso Racional de Energía URE, el programa CONOCE y diferentes energías alternativas.**

# PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

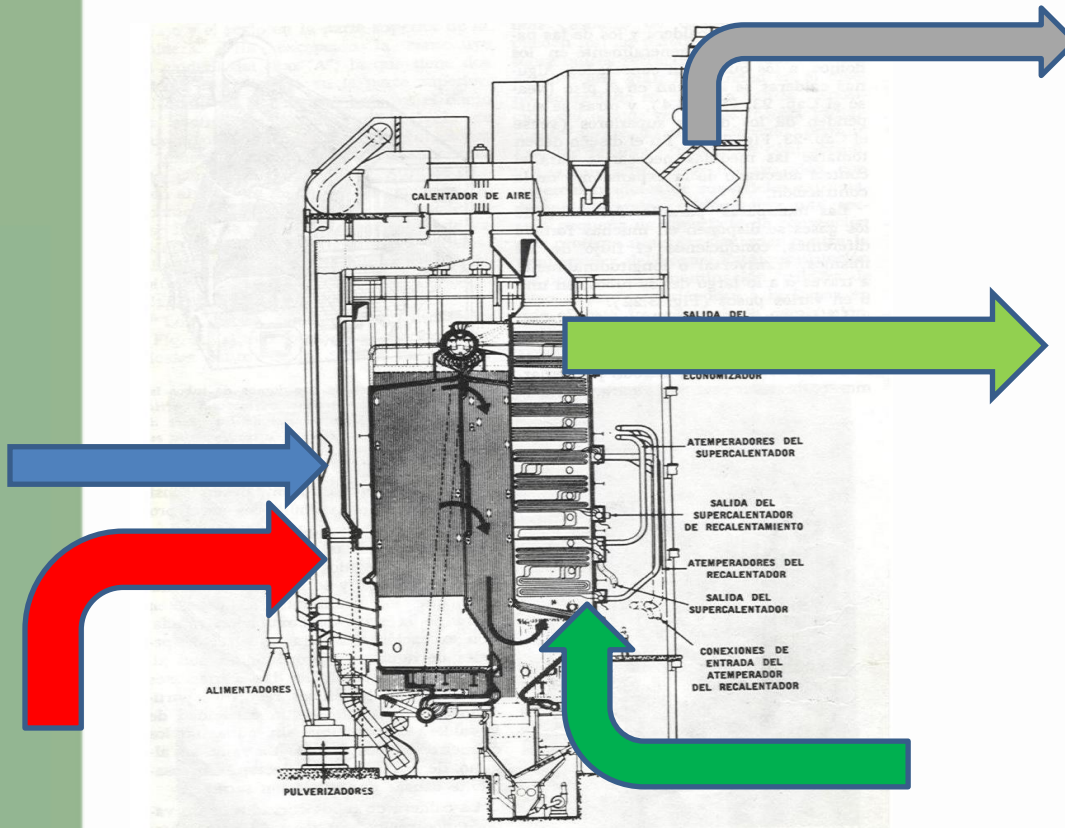
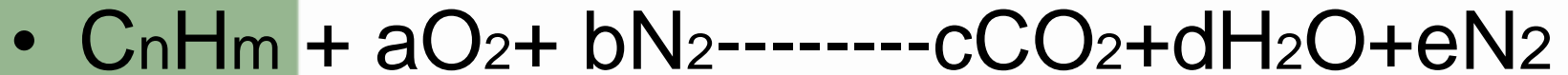


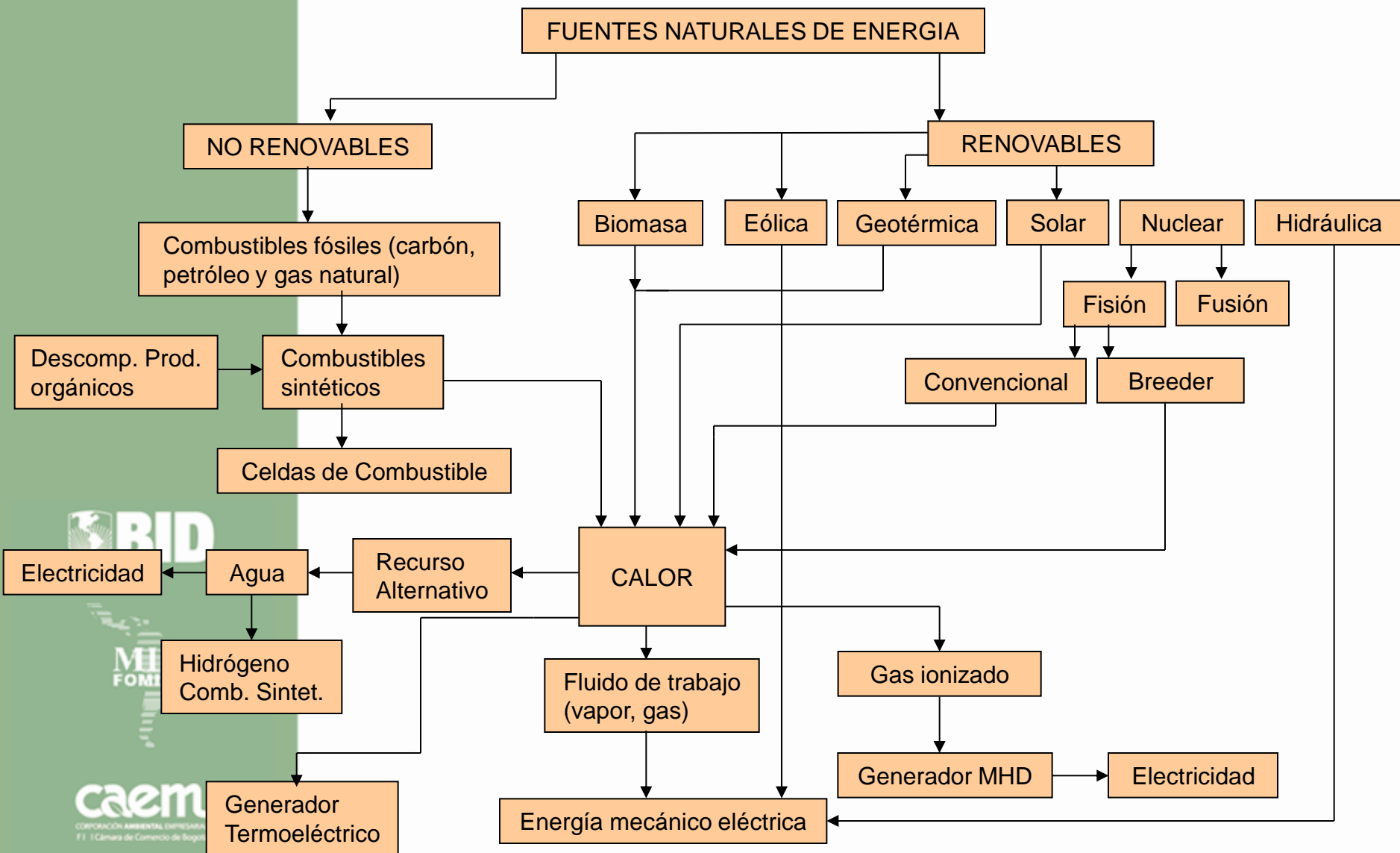
## Ecuación General de la Energía

$$Q_{\text{ent}} + \frac{mz_1}{J} + \frac{mp_1 v_1}{J} + mU_1 + \frac{mV_1^2}{(2gJ)} + W_{\text{ent}} j = Q_{\text{sal}} + \frac{mz_2}{J} + \frac{mP_2 v_1}{J} + mU_2 + \frac{mV_2^2}{(2gJ)} + W_{\text{sal}} j$$



## BALANCE DE MASA





# USU FINAL

- ENERGIA MECANICA
- ENERGIA TERMICA



- ENERGIA ELECTRICA



## CARACTERIZACION DEL CONSUMO ENERGETICO

### RELACION ENERGIA ELÉCTRICA Y ENERGIA TÉRMICA EN PROCESOS INDUSTRIALES

|                             |     |               |     |
|-----------------------------|-----|---------------|-----|
| Minería, Carbón             | 1,3 | Química       | 0,4 |
| Refino                      |     | Petroquímica  | 0,1 |
| Siderurgia y Fundición      | 0,3 | Automóvil     | 1,1 |
| Metalurgia no ferrea        | 1,4 | Alimentación  | 0,3 |
| Cemento cales y yesos       | 0,1 | Textil        | 0,5 |
| Ladrillos tejas y alfarería | 0,1 | Madera        | 1,5 |
| Cerámica                    | 0,2 | Pasta y Papel | 0,4 |
| Vidrio                      | 0,1 | Caucho        | 0,6 |

De esta manera las industrias quedan divididas en:

- - Uso predominante del calor ( $E/C < 0,1$ ), utilizan el calor directamente, apropiadas para ciclos de cola
- - Uso predominante de la electricidad ( $E/C > 0,5$ ), puesto que tienen pocas necesidades térmicas son las más complicadas para su viabilidad desde el punto de vista de la cogeneración.
- - Relación E/C equilibrada ( $0,5 < E/C < 0,1$ ), son las más interesantes.

# DISPONIBILIDAD DE ENERGÍAS

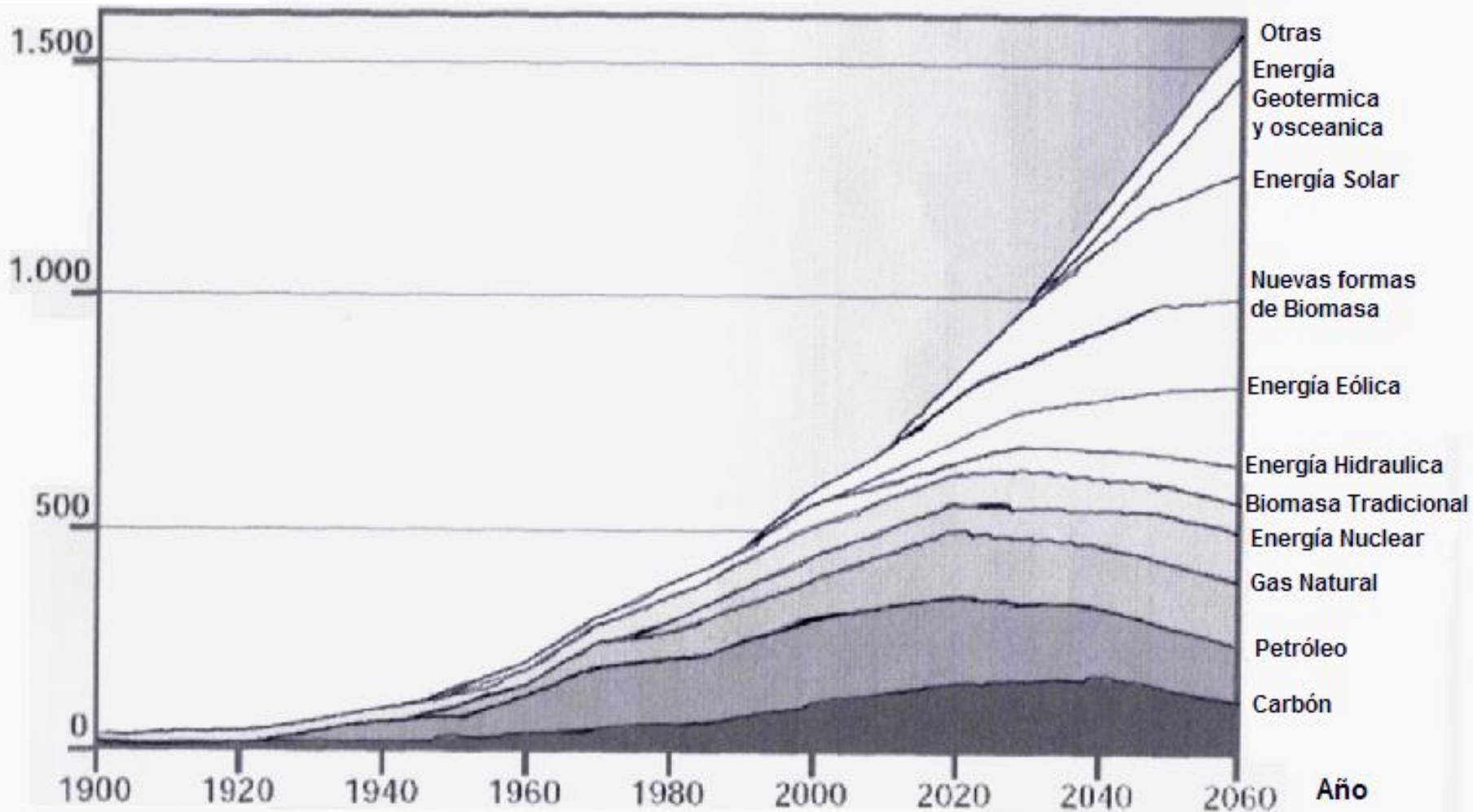
|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| <b>Almacenamiento ideal</b> | <b>Carbón</b>         |
|                             | <b>Petróleo y gas</b> |
|                             | <b>Atómica</b>        |
| <b>Almacenable</b>          | <b>Solar térmica</b>  |
|                             | <b>Geotérmica</b>     |
|                             | <b>Biomasa</b>        |
|                             | <b>Hidráulica</b>     |
| <b>Fluctuante</b>           | <b>Eólica</b>         |
|                             | <b>Fotovoltaica</b>   |
|                             | <b>Olas / Mareas</b>  |



Fuente: Jirsch Tobias et al. Solar termische kraftwerke DZL Stuttgart Curso (2006)

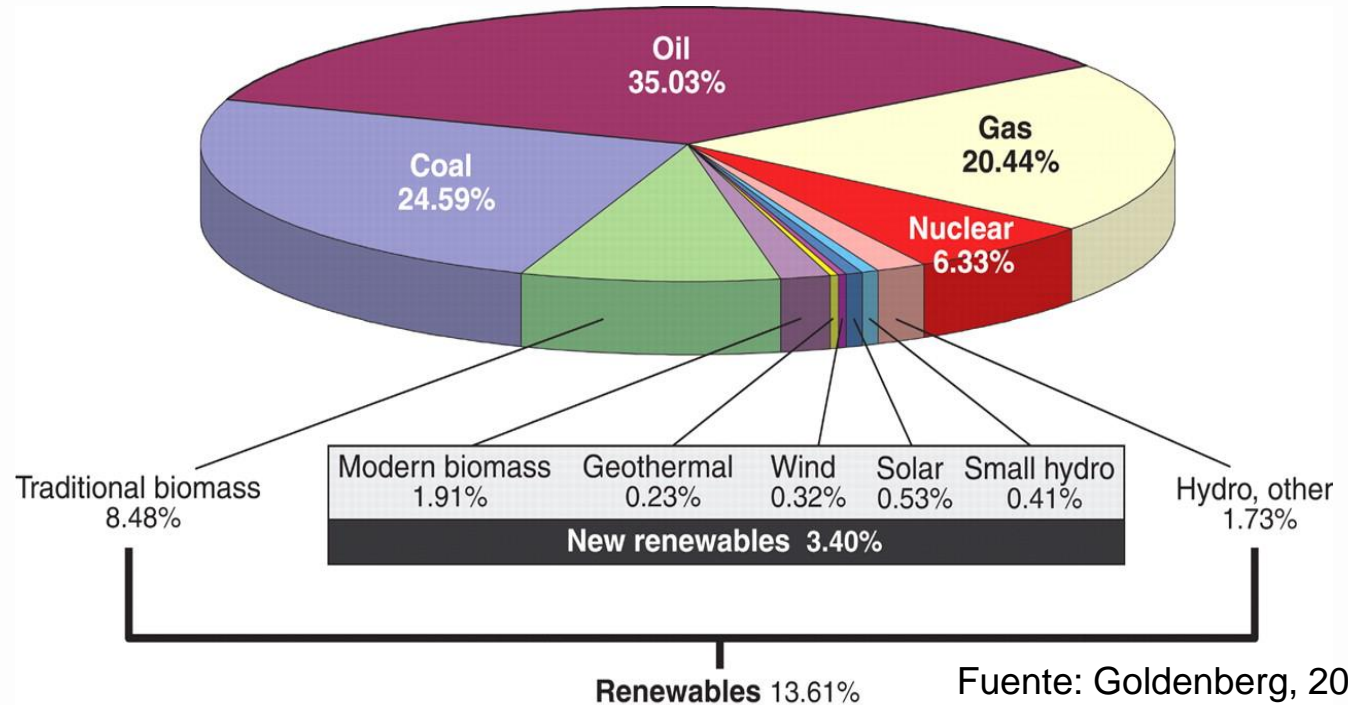
# PERSPECTIVAS DEL USO DE LA ENERGÍA

EXA JOULES





# FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA GLOBAL (2004)

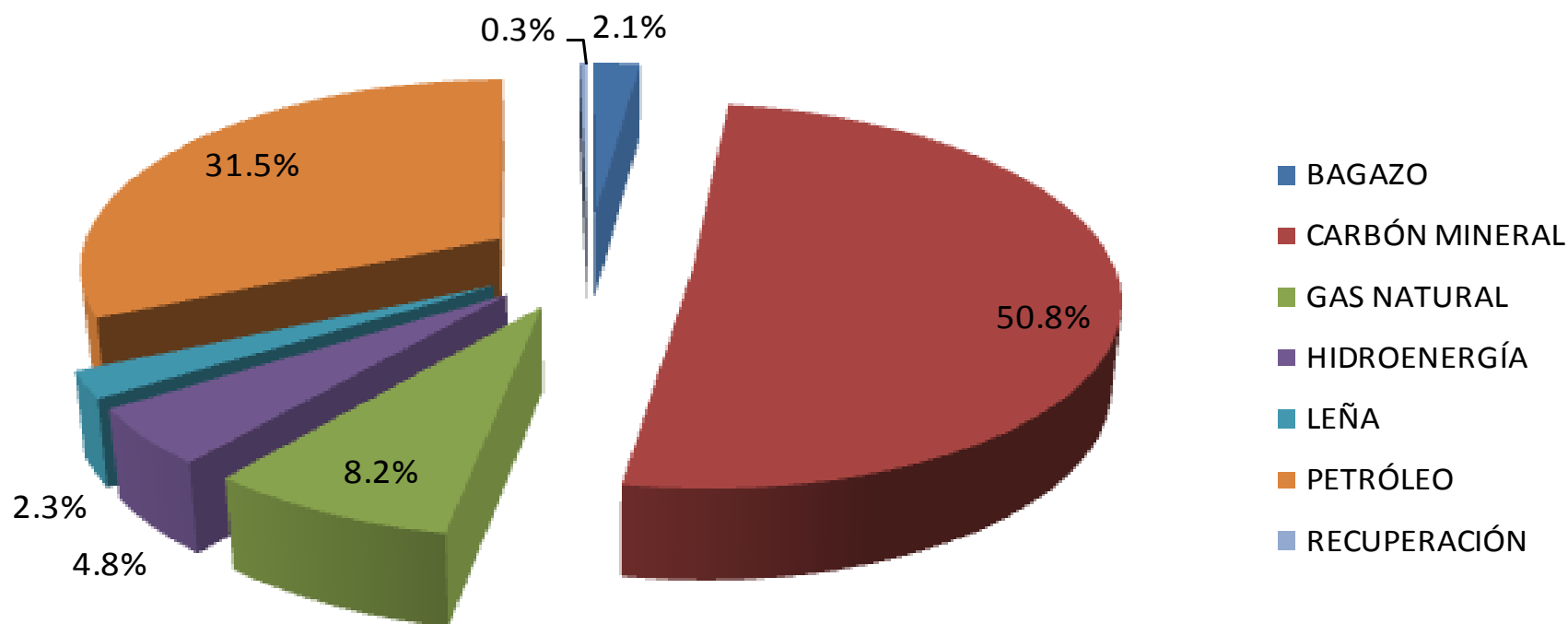


Fuente: Goldenberg, 2007



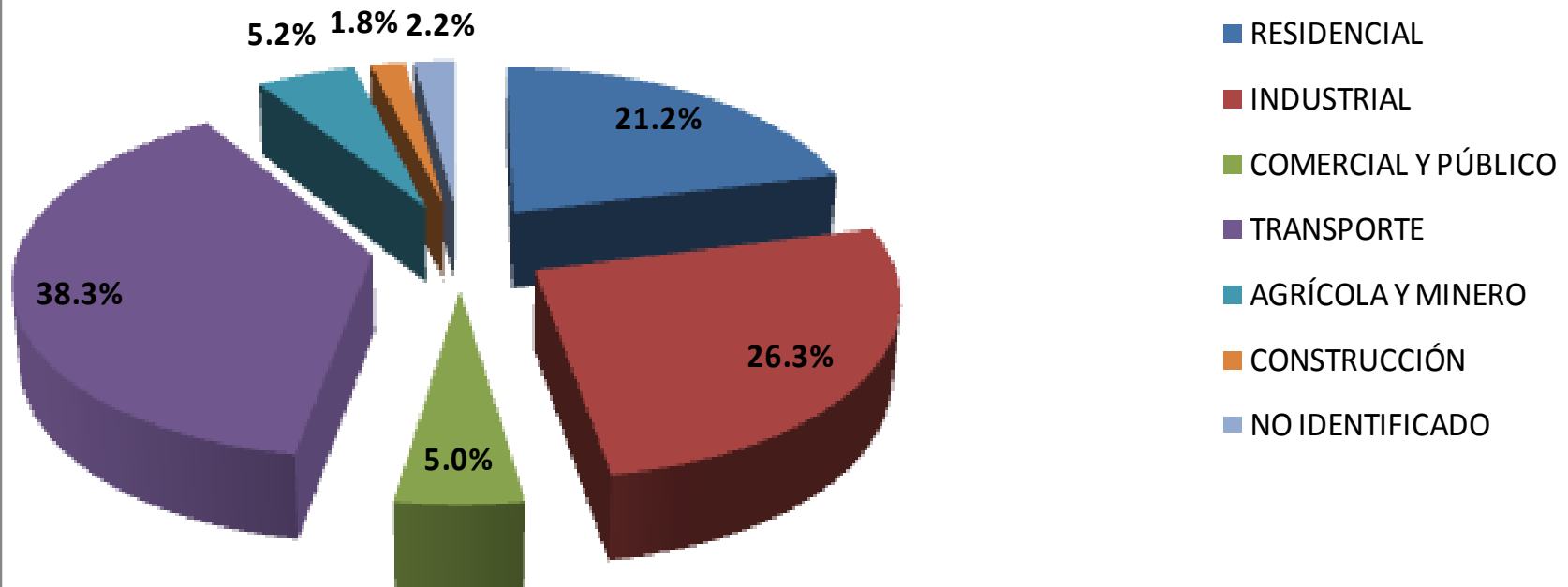
# OFERTA ENERGÉTICA EN COLOMBIA

Producción de Energía Primaria - 2008



# Consumo final de energía por sectores

Consumo Final de Energía por Sectores - 2008



Fuente: UPME

# SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL -SIN-

## Demanda de Electricidad

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Energía Anual (12 meses) | 48,513 GWh |
| Crecimiento anual        | 3.98%      |
| Potencia máxima          | 8,332 MW   |

## Capacidad de Generación

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Plantas Hidráulicas       | 8,557 MW         |
| Plantas Térmicas a Carbón | 692 MW           |
| Plantas Térmicas a Gas    | 3,661 MW         |
| Cogeneradores             | 25 MW            |
| Plantas Menores           | 430 MW           |
| <b>Total</b>              | <b>13,365 MW</b> |

## Reserva Hidráulica

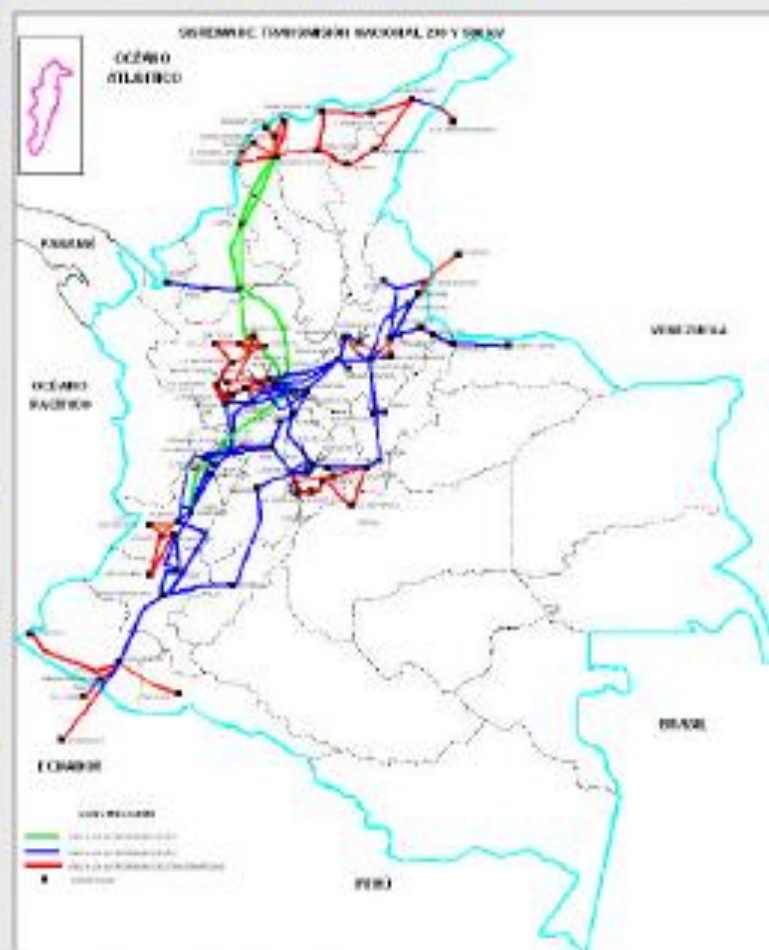
|                           |            |
|---------------------------|------------|
| Volumen máximo embalsable | 16,238 GWh |
| Volumen Util              | 15,243 GWh |

## Redes de Transmisión

|            |           |
|------------|-----------|
| 500 kV     | 1,449 km  |
| 220-230 kV | 10,815 km |
| 110-115 kV | 9,909 km  |

## Interconexiones internacionales

|                  |        |
|------------------|--------|
| <b>Ecuador</b>   |        |
| Importación      | 215 MW |
| Exportación      | 285 MW |
| <b>Venezuela</b> |        |
| Importación      | 205 MW |
| Exportación      | 336 MW |



Fuente: Colombian Energy Market & Electric Power Transmission System Workshop Draft

Tomado del Estudio para la formulación de una estrategia nacional de abastecimiento energético UPME - ANH

# CAPACIDAD EFECTIVA NETA E.E. (MW)

## Diciembre 31 2007

|              | MW      | %     |
|--------------|---------|-------|
| HIDRÁULICA   | 8525    | 63.6  |
| TÉRMICA      | 4298    | 32.1  |
| GAS          | 3598    |       |
| CARBÓN       | 700     |       |
| MENORES      | 558.2   | 4.1   |
| HIDRÁULICA Y | 539.8   |       |
| TÉRMICA      | 18.4    |       |
| EÓLICA       |         |       |
| COGENERADOR  | 24.5    | 0.2   |
| TOTAL SIN    | 13405.7 | 100.0 |

# SISTEMA NO INTERCONECTADO LOCALIZACION DE LAS PLANTAS DIESEL EN COLOMBIA



# FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS



# FUENTES ENERGETICAS SUSTITUTAS

- ENERGIAS LIMPIAS
- ENERGIAS ALTERNATIVAS- NO CONVENCIONALES
- ENERGIAS RENOVABLES





# CARACTERÍSTICAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

- ✓ El recurso energético, agua, sol, viento o biomasa es un recurso que se encuentra distribuido en amplias zonas del planeta, lo que permite una utilización descentralizada del mismo.
- ✓ Las tecnologías de conversión son modulares, lo cual significa posibilidad de implantación en pequeñas unidades.
- ✓ Los procesos de conversión energética tienen un reducidísimo impacto ambiental, comparado con las fuentes convencionales.

# CARACTERÍSTICAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

- ✓ La relativa sencillez de los procesos tecnológicos permite un desarrollo autóctono.
- ✓ El recurso es inagotable y no plantea los problemas que a largo plazo, recursos finitos puedan generar.



# MOTIVACIONES DE USO DE LAS EENRGIAS RENOVABLES

## PAÍSES DESARROLLADOS:

1. Su necesidad de disponer de fuentes energéticas seguras en contraposición a las fuentes fósiles, sumamente sensibles a perturbaciones geopolíticas.



2. La creciente conciencia colectiva sobre los nocivos efectos ambientales del actual sistema energético, con la consecuente presión sobre los gobernantes e industrias.



3. El propósito de alcanzar la independencia energética.



# MOTIVACIONES DE USO DE LAS EENRGIAS RENOVABLES

## PAÍSES SUBDESARROLLADOS:

Las E.R. se están convirtiendo en la única opción factible para la satisfacción de sus necesidades energéticas; así, en vastas regiones rurales de América Latina, Asia y África están presentes celdas fotovoltaicas, biodigestores, aerogeneradores, y otros dispositivos asociados con la conversión energética de las alternativas, dándose una transición interesante: desde servicios energéticos primitivos e ineficientes hasta sistemas sustentables modernos.



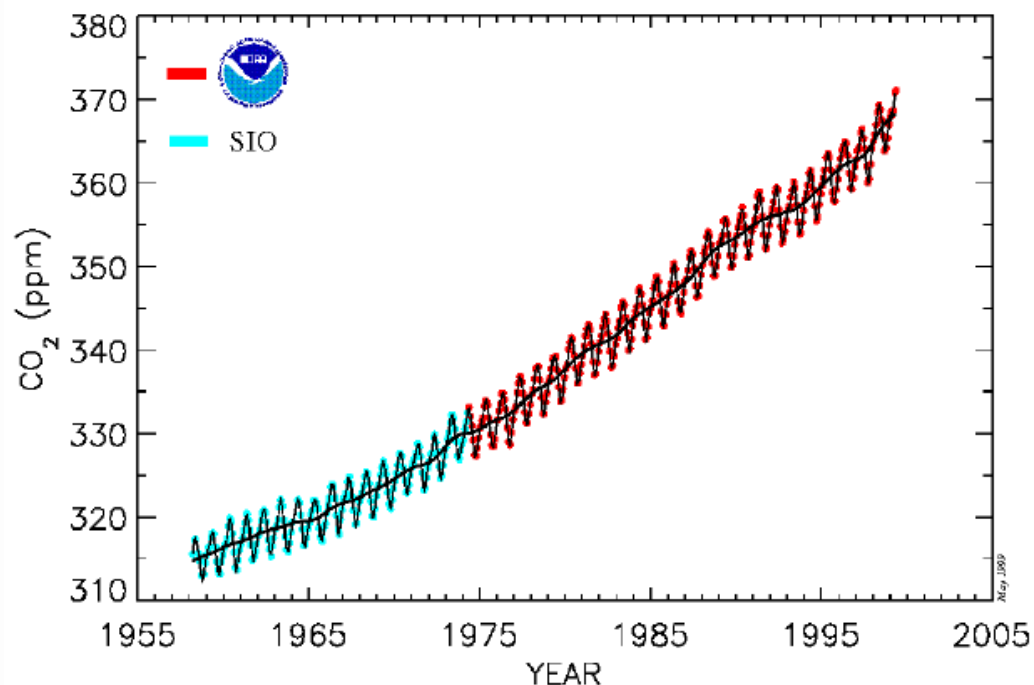
# ASPECTOS AMBIENTALES

## EMISIONES CO<sub>2</sub>

Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera al comienzo de la Revolución Industrial (1750) 280 ppmv (0,028%)

Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera medida en 2005, alcanza casi las 380 ppmv (0,038%).

El aire contiene unas 750 gigatoneladas de carbono



# EMISIONES DE CO<sub>2</sub> (T/GW.h) GENERADAS POR DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

| Tecnologías                              | Extracción del combustible | Construcción | Operación | Total   |
|--|----------------------------|--------------|-----------|---------|
| Térmica del carbón Convencional          | 1                          | 1            | 962       | 964.00  |
| Térmica del carbón AFBC                  | 1                          | 1            | 960.9     | 962.90  |
| Térmica del fuel-oil                     | 0                          | 0            | 726.2     | 726.20  |
| Térmica de gas                           | 0                          | 0            | 484       | 484.00  |
| Conversión de energía térmica del océano | 0                          | 3.7          | 300.3     | 304.00  |
| Planta de energía geotérmica             | 0.3                        | 1            | 55.5      | 56.80   |
| Minihidráulica                           | 0                          | 10           |           | 10.00   |
| Energía Eólica                           | 0                          | 7.4          |           | 7.40    |
| Energía fotovoltaica                     | 0                          | 5.4          |           | 5.40    |
| Energía solar térmica                    | 0                          | 3.6          |           | 3.60    |
| Hidráulica                               | 0                          | 3.1          |           | 3.10    |
| Térmica alimentada con                   | -1509.1                    | 2.9          | 1346.3    | -159.90 |

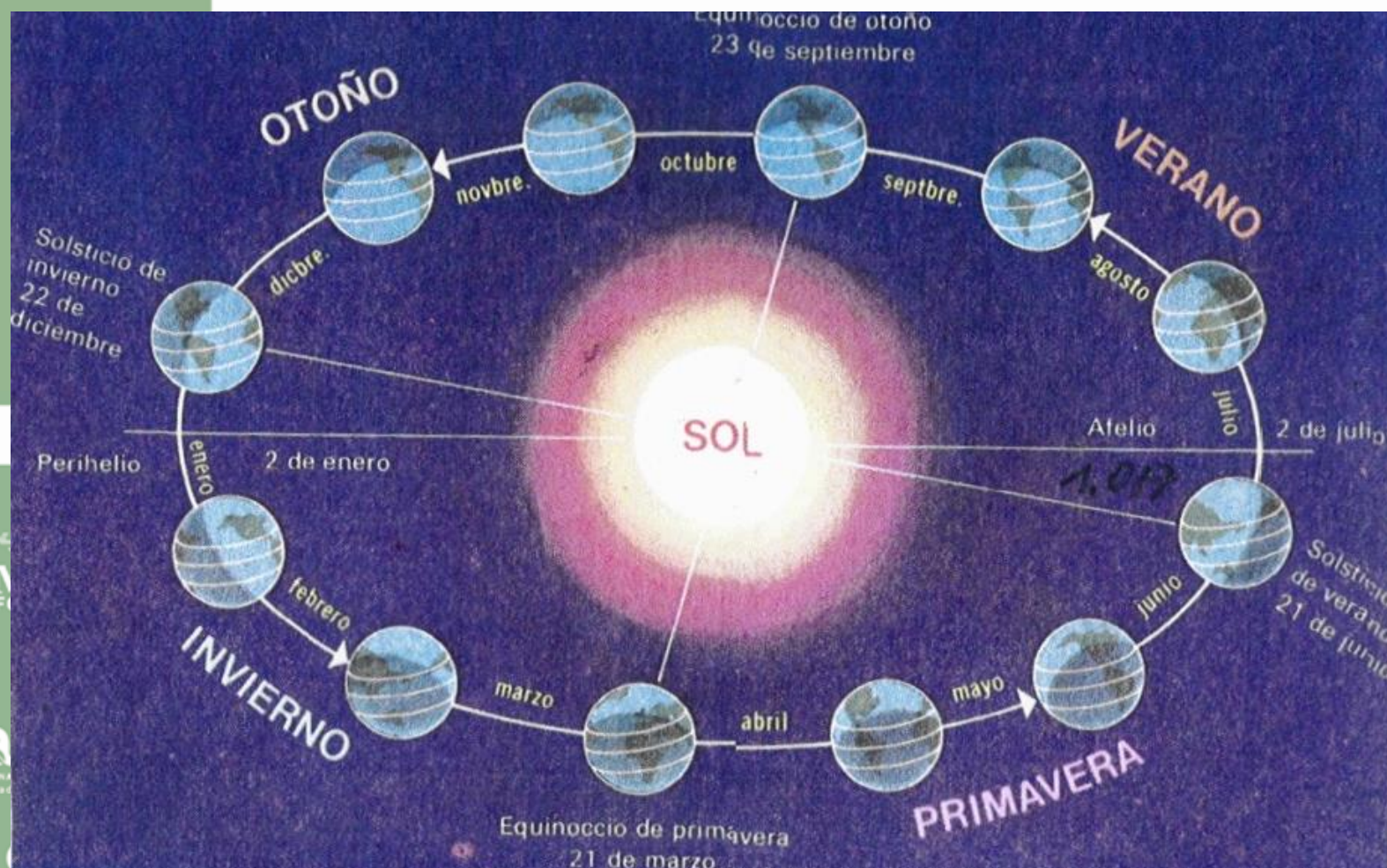
Fuente: Carrasco Juan. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA Y PRODUCTOS PARA LA AGRICULTURA Y LA INDUSTRIA (2004).

# ENERGIA SOLAR





# ENERGÍA SOLAR



CAB  
CORPORACIÓN  
DE BOGOTÁ

DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad



# Capas del sol

| Radio(%)   | Densidad g/cm <sup>3</sup> | Temperatura (K°) |
|------------|----------------------------|------------------|
| 0-23       | 80-100                     | 80-40 millones   |
| 23-70      | 0,07                       | 130.000          |
| 70-100     | 10 <sup>-8</sup>           | 5000             |
| Fotósfera  | 300 km espesor             |                  |
| Cromósfera | 10.000 km espesor          |                  |
| Corona     | 10 <sup>6</sup> km espesor |                  |



VIII FORUM

caen

CORPORACIÓN AMBIENTAL ESPECIALIZADA  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

**CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

# REGIONES DE LA CURVA ESPECTRAL DE RADIACIÓN SOLAR

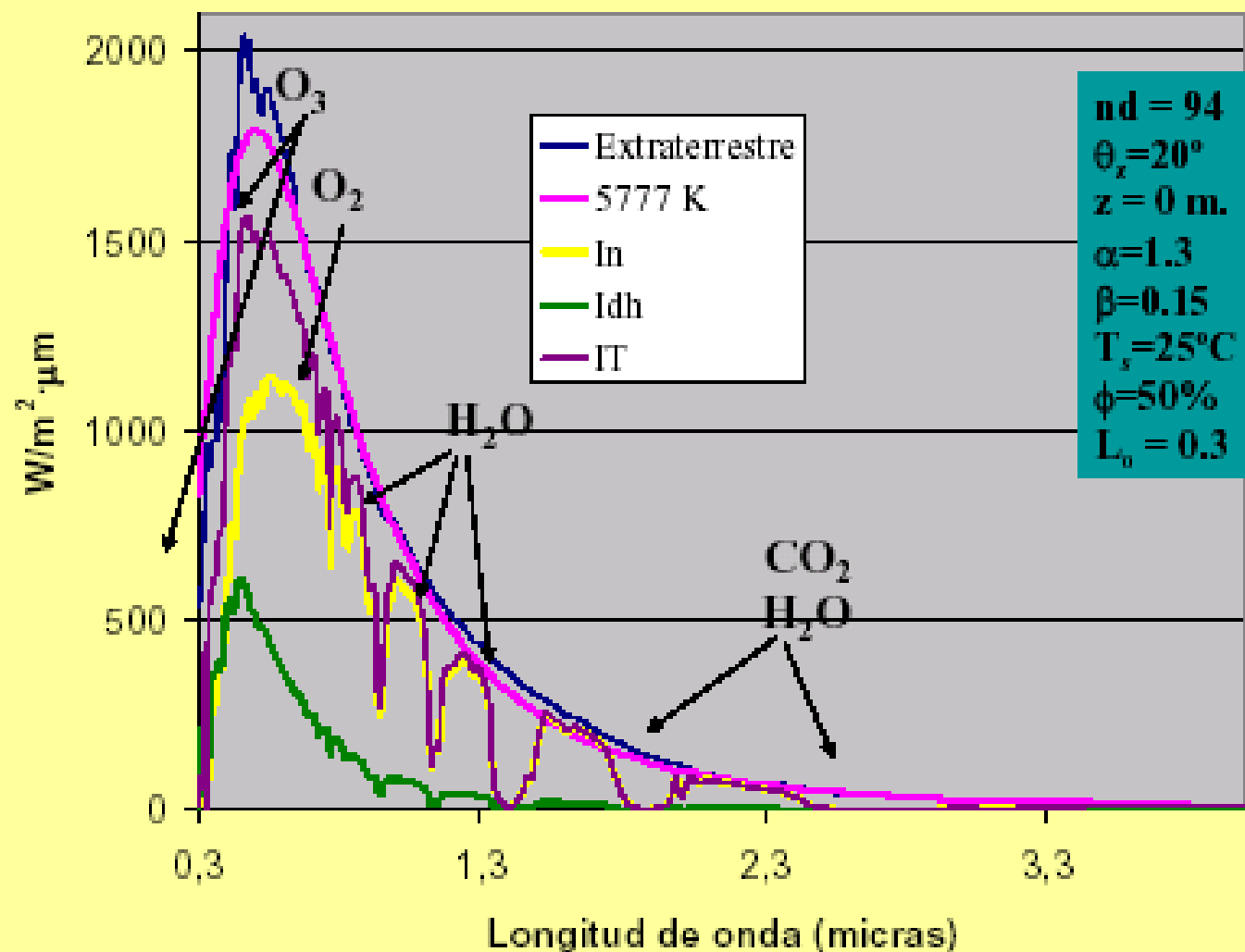
- La región llamada visible ( $0,38\mu\text{m} < \lambda < 0,78\mu\text{m}$ ) por que es el rango que puede detectar el ojo humano y dentro del cual están los colores violeta ( $0,42\mu\text{m}$ ), azul ( $0,48\mu\text{m}$ ), verde ( $0,52\mu\text{m}$ ), amarillo ( $0,57\mu\text{m}$ ), anaranjado ( $0,60\mu\text{m}$ ), y rojo ( $0,70\mu\text{m}$ ).



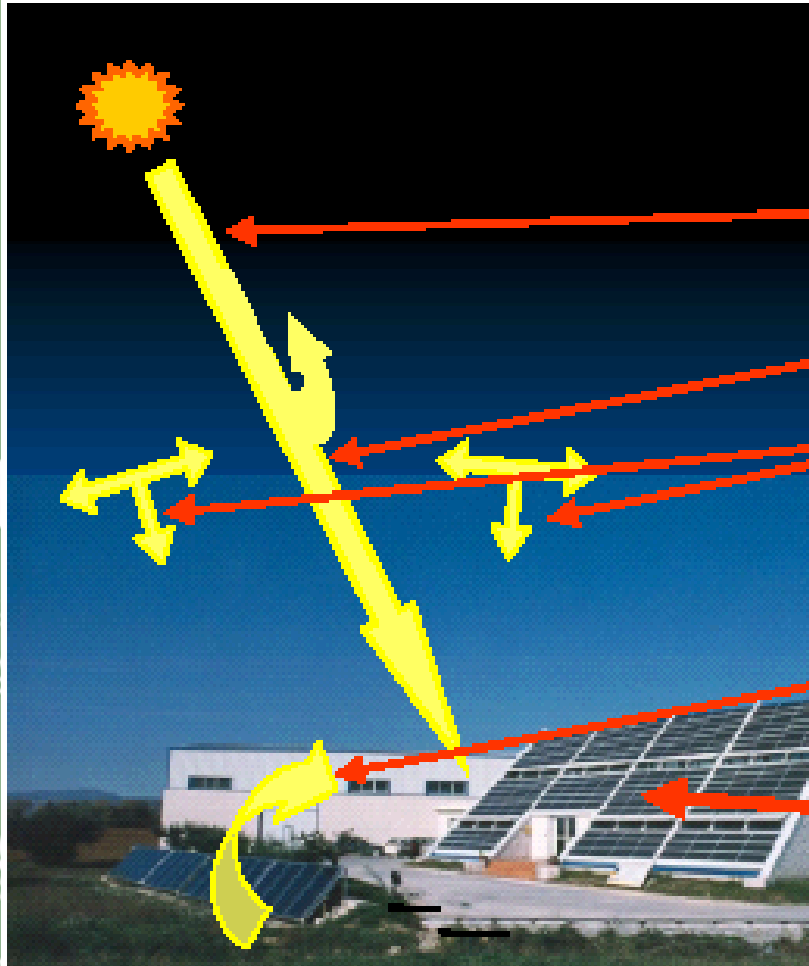
- La región invisible antes del violeta, se denomina ultravioleta y su longitud de onda es menor de  $0,38\mu\text{m}$ .
- La región del invisible, conocida como infrarrojo, se encuentra en las longitudes de onda mayores de  $0,78\mu\text{m}$ .



## RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE



## Directa, Difusa, Reflejada



**Irradiancia:** Potencia por unidad de superficie ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )

**Irradiación:** Energía por unidad de superficie ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )

■ **Extraatmosférica:** Fuera de la atmósfera

■ **Directa:** Procede del sol y depende de su posición

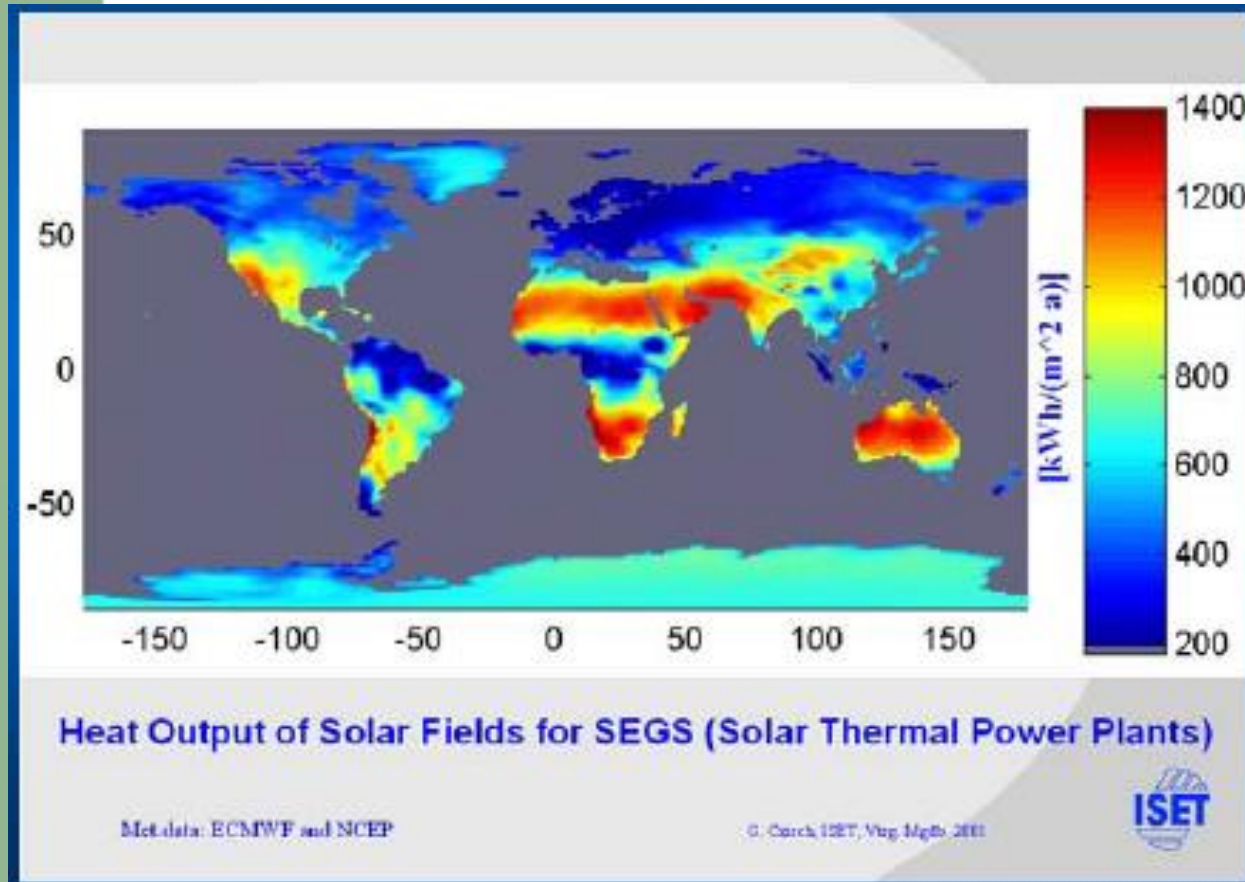
■ **Difusa:** Procede de la atmósfera y es la consecuencia de los procesos de reflexión, difracción, dispersión y absorción

■ **Reflejada:** Procede de la reflexión de la radiación incidente sobre el entorno

■ **Global = Directa + Difusa + Reflejada:** Radiación total incidente sobre una superficie

# • Aspectos teóricos

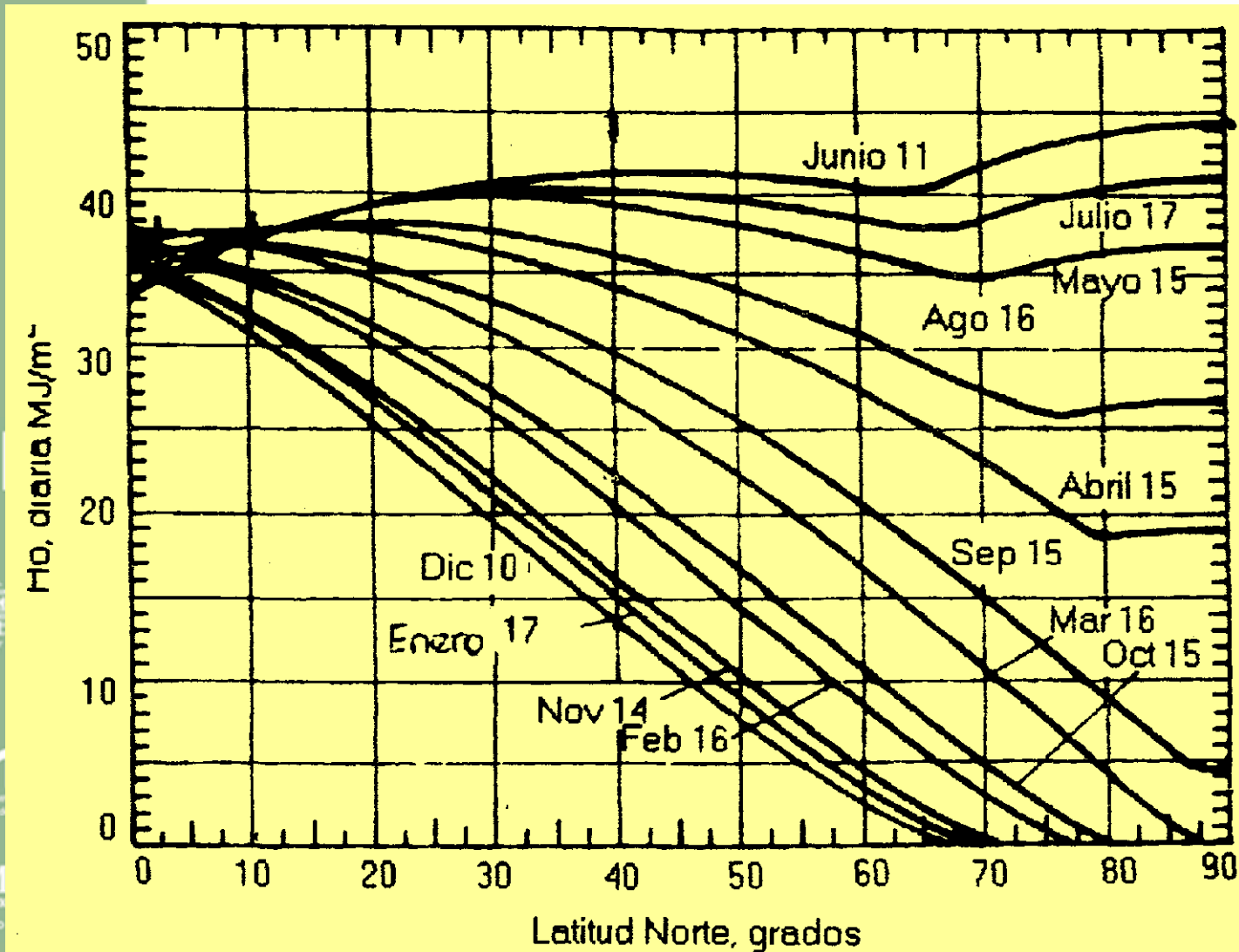
## Cinturón solar



Fuente: Silva Miguel. Aprovechamiento de la energía solar a altas temperaturas. Curso ESI, (2004/2005)

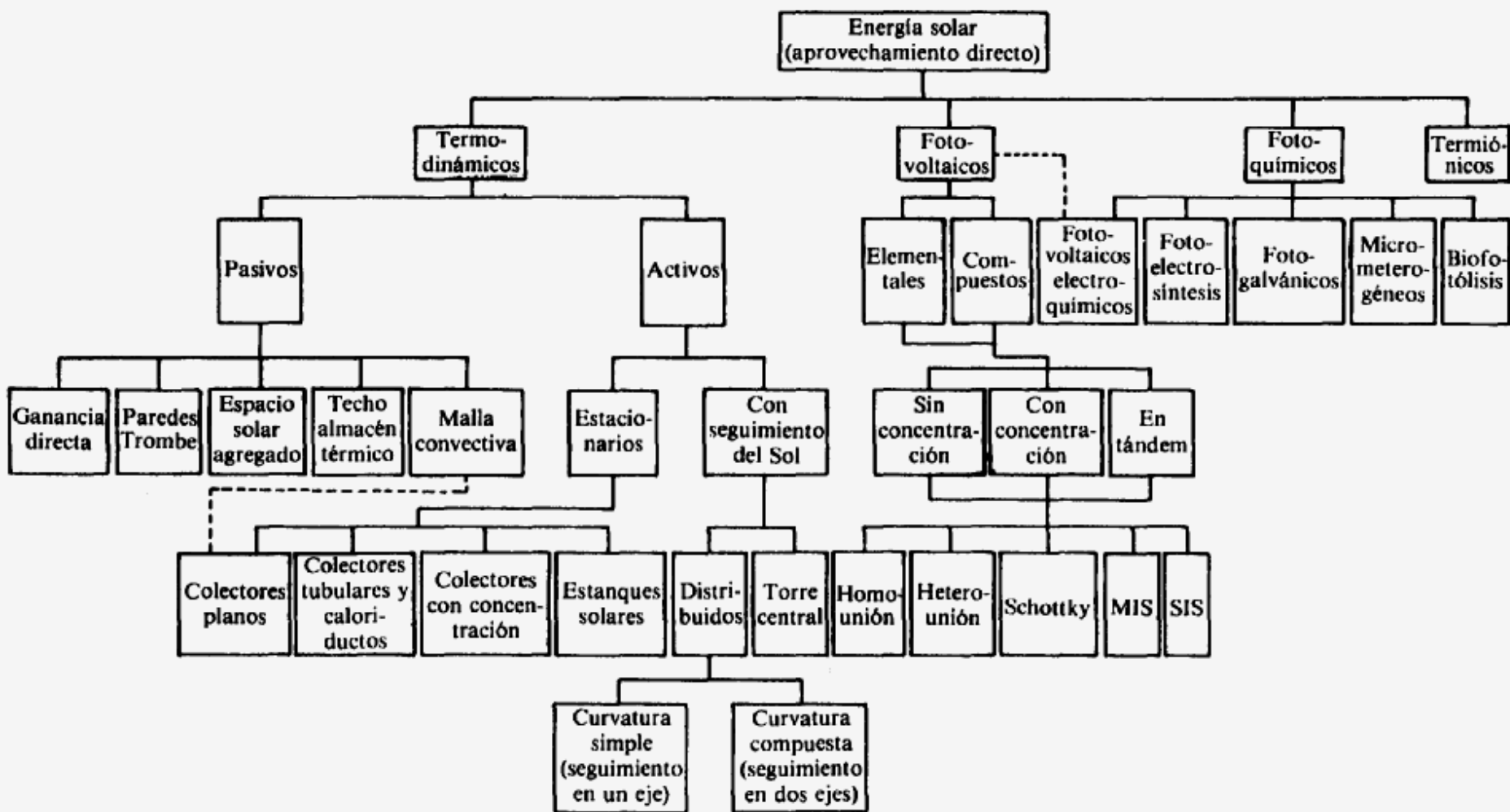


# Radiación diaria sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera terrestre y paralela a la superficie terrestre



# TECNOLOGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR

## USO FINAL





# **APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR TERMICA**

**PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA**

**INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN**

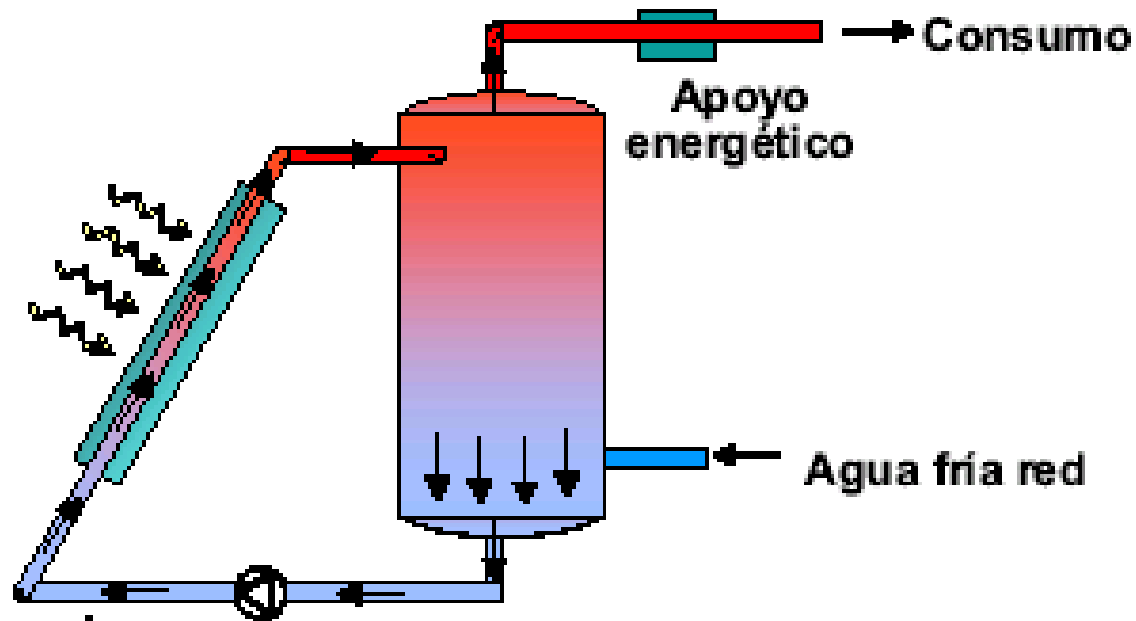
**CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS**

 **SECADEROS SOLARES**

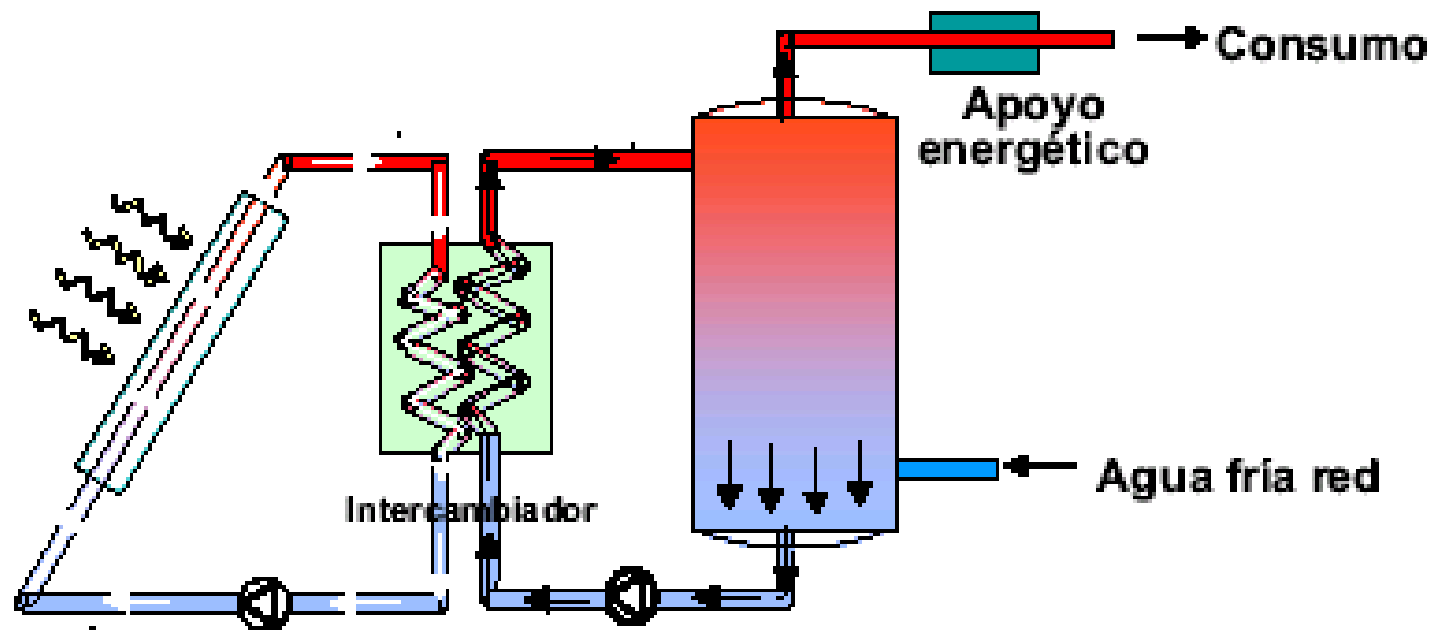
**APLICACIONES EN INDUSTRIAS** pueden ser el lavado de botellas, descortezados, separación de fibras, tratamiento de alimentos.

**DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR**

# CALENTAMIENTO DE AGUA PARA HOGARES



Esquema de una instalación solar térmica con circuito abierto



**CIRCUITO PRIMARIO**

**CIRCUITO SECUNDARIO**



B

M  
FOR

CAE

CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

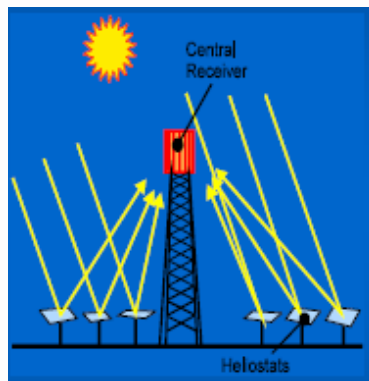
**CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

# ENERGÍA SOLAR TERMICA

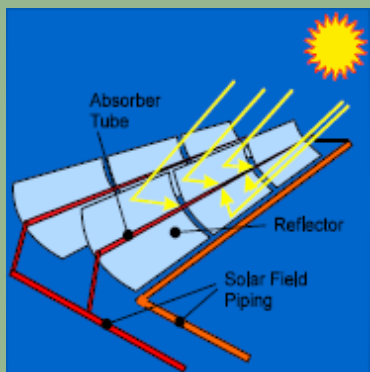
- Tecnologías
- Aplicaciones
- Costos
- Ventajas y desventajas



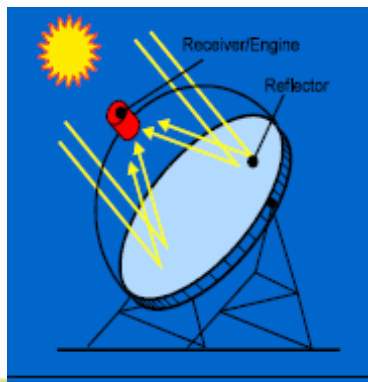
# • TECNOLOGÍAS PARA USO INDUSTRIAL



- **Receptor Central (RC):** Generación electricidad
- Rango Potencias: 1.2 a 10 MWe.
- Temperaturas del fluido de trabajo: 565°C.
- Eficiencias pico: 23%, promedio anual del 13%.



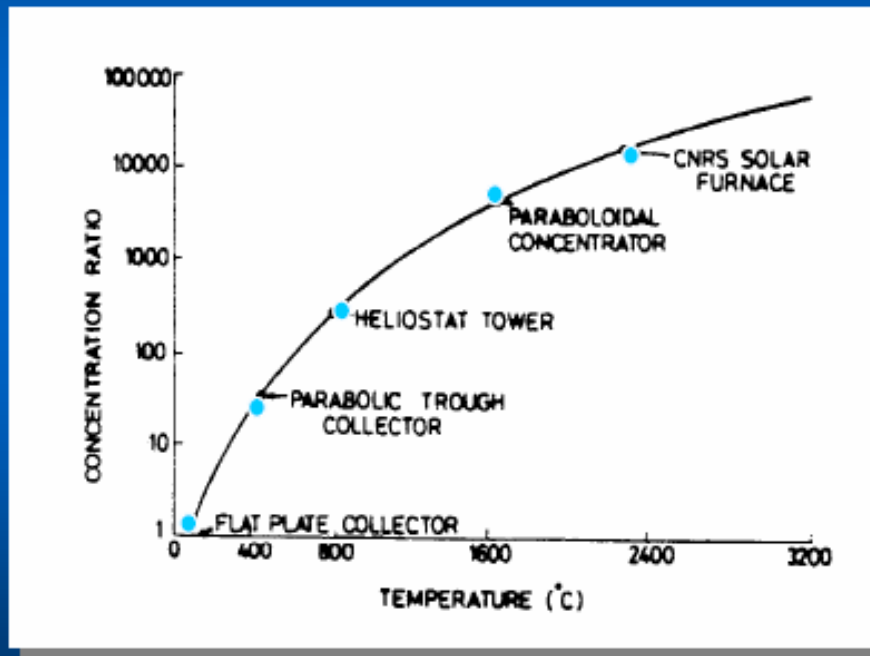
- **Cilindro Parabólico (CP):** Generación electricidad.
- Temperatura del fluido de trabajo: 390°C.
- Eficiencias pico: 21%, promedio anual de 13%.



- **Platos Parabólicos (PP):**
- Aplicaciones descentralizadas.

# •CONCENTRACION SOLAR

## Sistemas concentradores reales



Límites:

3D:  $\approx$  46200

2D:  $\approx$  215



## 5. CENTRALES TERMOSOLARES KRAMER JUNCTION.

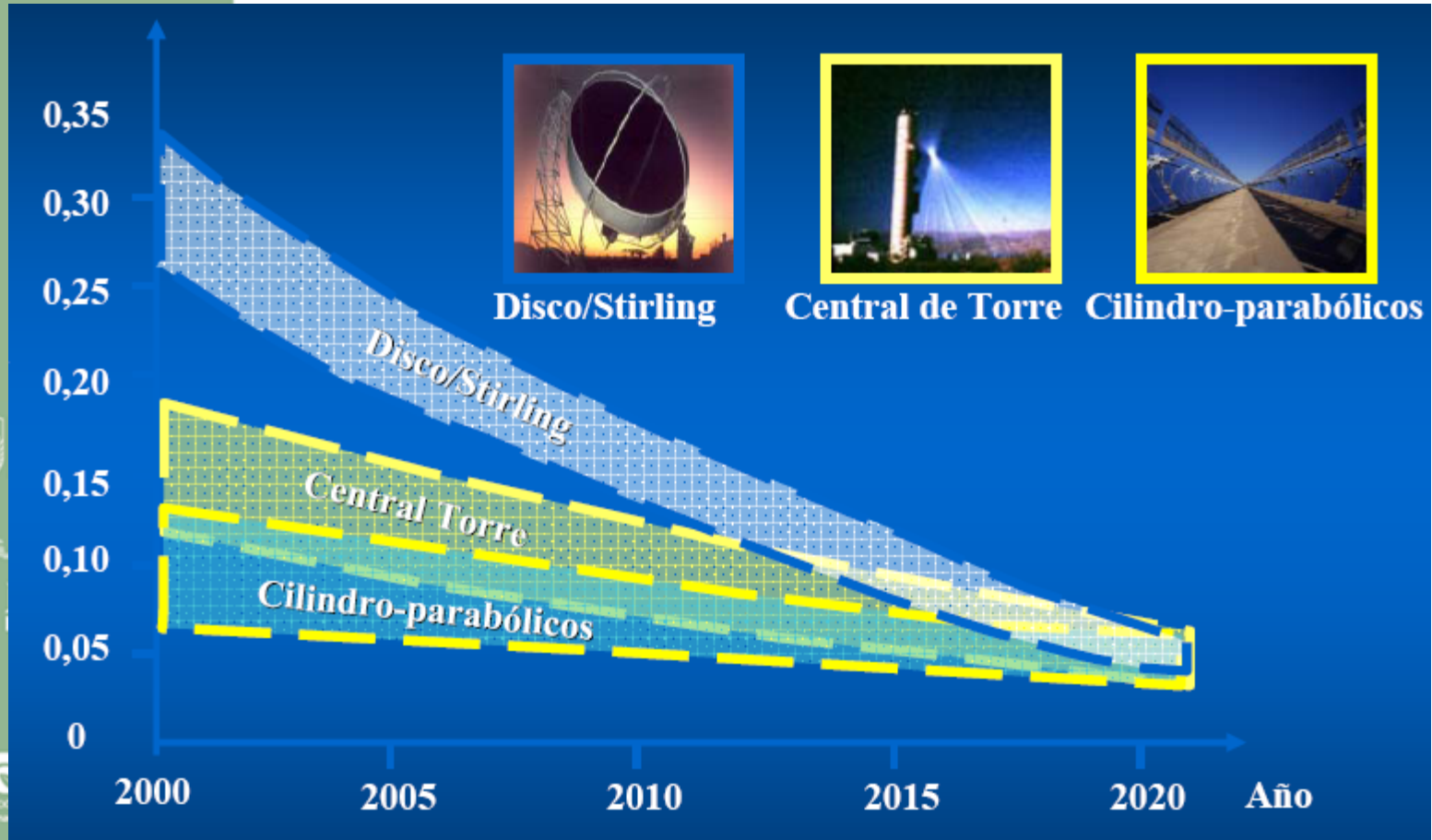




## 5. CENTRALES TERMOSOLARES KRAMER JUNCTION.



## Objetivos de costes para las CET



# ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

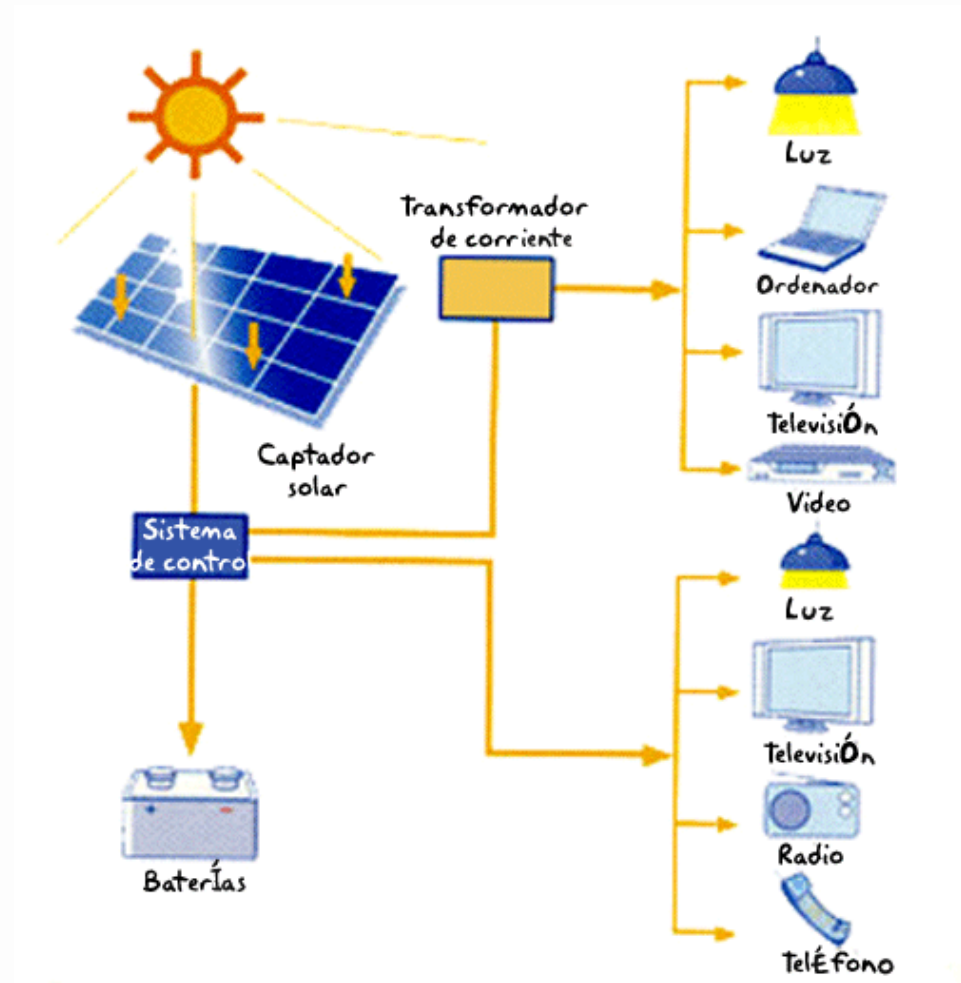
- Tecnologías
- Aplicaciones
- Costos
- Ventajas y desventajas



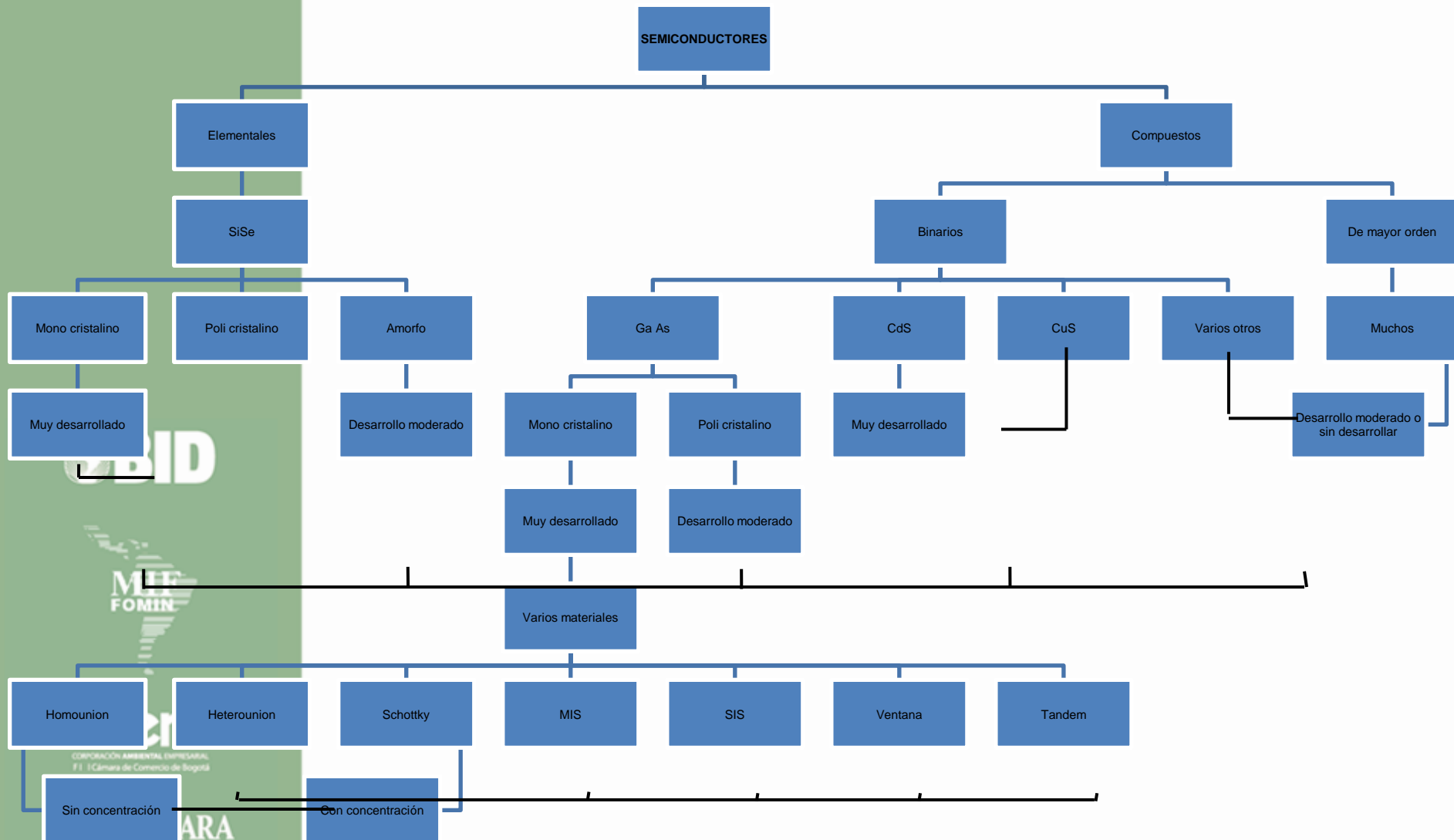
# • APLICACIONES

Conversión directa de radiación solar a electricidad: Base: celdas fotovoltaicas.

- Refrigeración
- Comunicaciones
- Manejo de bombas
- Electrificación rural



# • Aspectos teóricos



# VENTAJAS Y DESVENTAJAS

## Ventajas


No tienen partes móviles.

Tienen una respuesta muy rápida.




No producen contaminación durante su operación.

Requieren poco mantenimiento.

Se fabrican principalmente a partir del Silicio.

 Son modulares lo que como sistema le da una flexibilidad en sus aplicaciones.

## Desventajas

  
  
 Para cierto tipo de celdas, en su fabricación, se requiere el manejo de sustancias que pueden ser nocivas al ambiente.

La tecnología actual es costosa

- Aspectos teóricos

## Eficiencia de conversión de diferentes materiales

| MATERIALES DE LA CELULA | EFICENCIA LABORATOTORIO (%) | EFICENCIA COMERCIAL (%) |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Silicio Monocristalino  | 24                          | 16                      |
| Policristalino          | 20                          | 14                      |
| Amorfo                  | 14                          | 6                       |
| Diselano-Cobre-Indio    | 14                          | >10                     |
| Silicio                 | 27                          | 15 – 19                 |
| Arseniuro de Galio      | 29                          | -                       |
| Multifunción            | 35                          | -                       |





## •ACUMULADORES

### Características de diferentes baterías

| Tipo                                 | Costo aproximado (US/kWh) | Ciclos de vida   | Profundidad de descarga | Autodescarga normal |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Plomo – antimonio (carro)            | 70                        | 150-250          | 10%                     | 7 – 50 % mes        |
| <b>Plomo – ácido (fotovoltaica)</b>  | <b>80</b>                 | <b>1000-2000</b> | <b>10-30%</b>           | <b>3-4% mes</b>     |
| <b>Plomo puro (fotovoltaica)</b>     | <b>140</b>                | <b>1000-3000</b> | <b>30-50%</b>           | <b>2% mes</b>       |
| <b>Plomo – calcio (fotovoltaica)</b> | <b>200</b>                | <b>2000-6000</b> | <b>20-70%</b>           | <b>1% mes</b>       |
| Níquel - Cadmio                      | 300-1000                  | 3000-10000       |                         | 5% mes              |



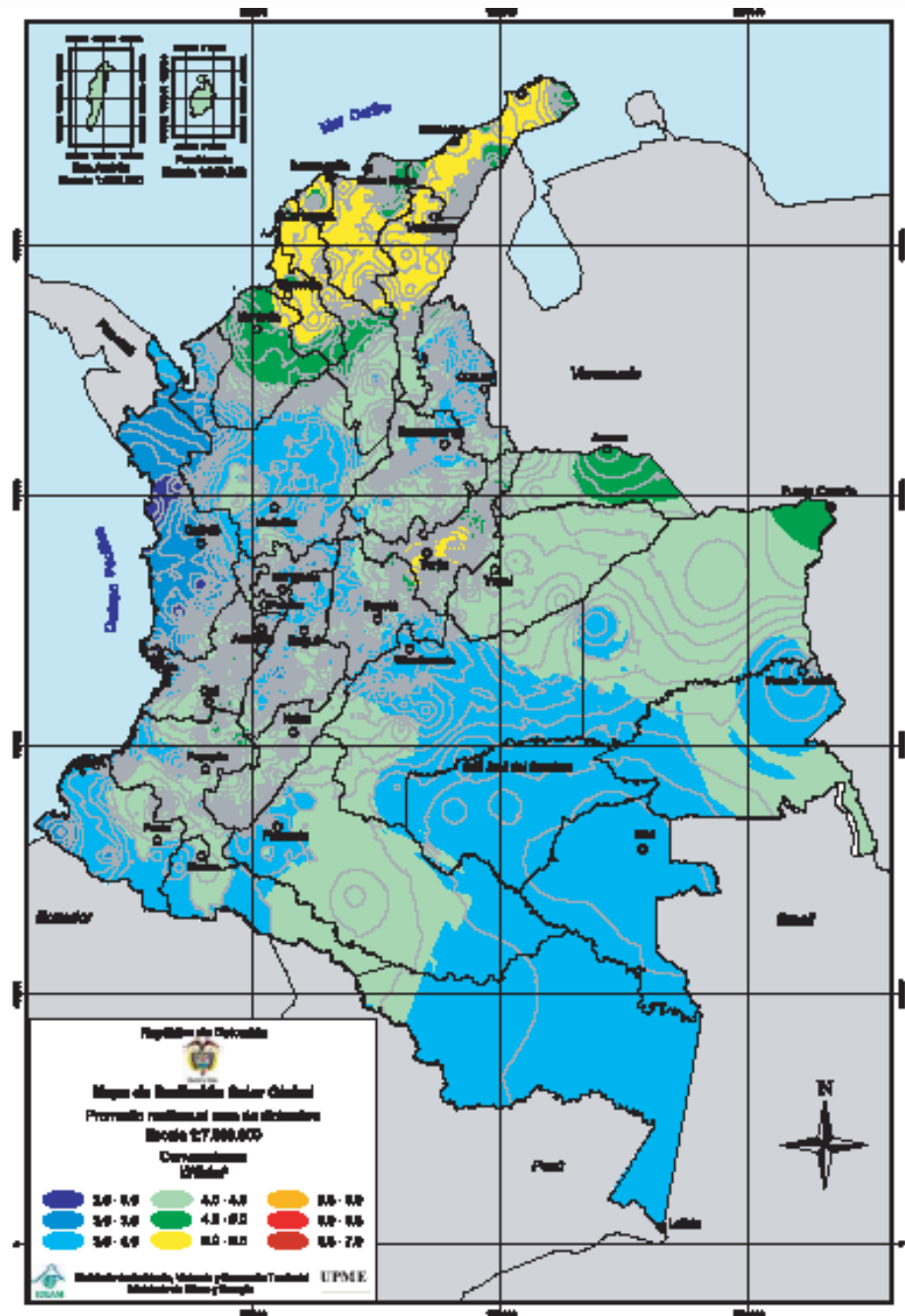
M  
Fo

CORPORACIÓN AN  
FI Cámara de



# CASO COLOMBIA

Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana



# ENERGIA EOLICA



# EOLICA

- Tecnologías
- Aplicaciones
- Costos
- Ventajas y desventajas





# •Ventajas y Desventajas

## VENTAJAS:

### Ambientales:

Disminución emisiones por Kw-h generado:

- 5-8 g de SO<sub>2</sub>
- 3-6g de NO<sub>2</sub>
- 750-1250 g de CO<sub>2</sub>
- 40-70 g de cenizas y escorias

## DESVENTAJAS:

### Impacto Visual:

Modifica el tipo de paisaje.

### Ruido:

Generado por componentes mecánicos Las granjas eólicas generan un área de ruido de 300-400 m.

### Uso de Terreno:

Se necesitan de 7 a 12 ha por MW instalado, no más del 5% de esa área es usada por las turbinas.



Fuente: Asociación de Fabricantes Daneses de Turbinas de Viento

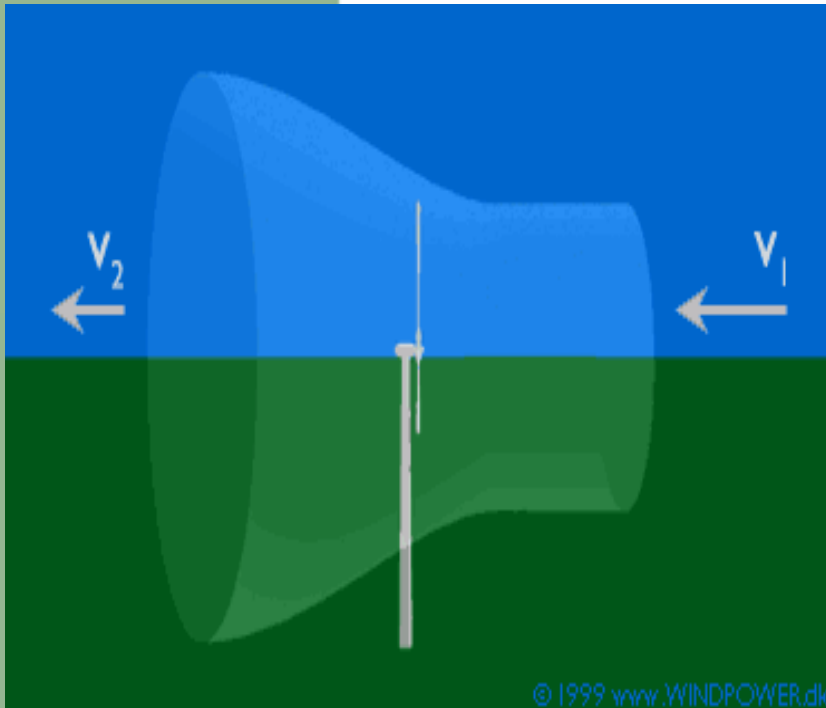


# • Aspectos teóricos

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

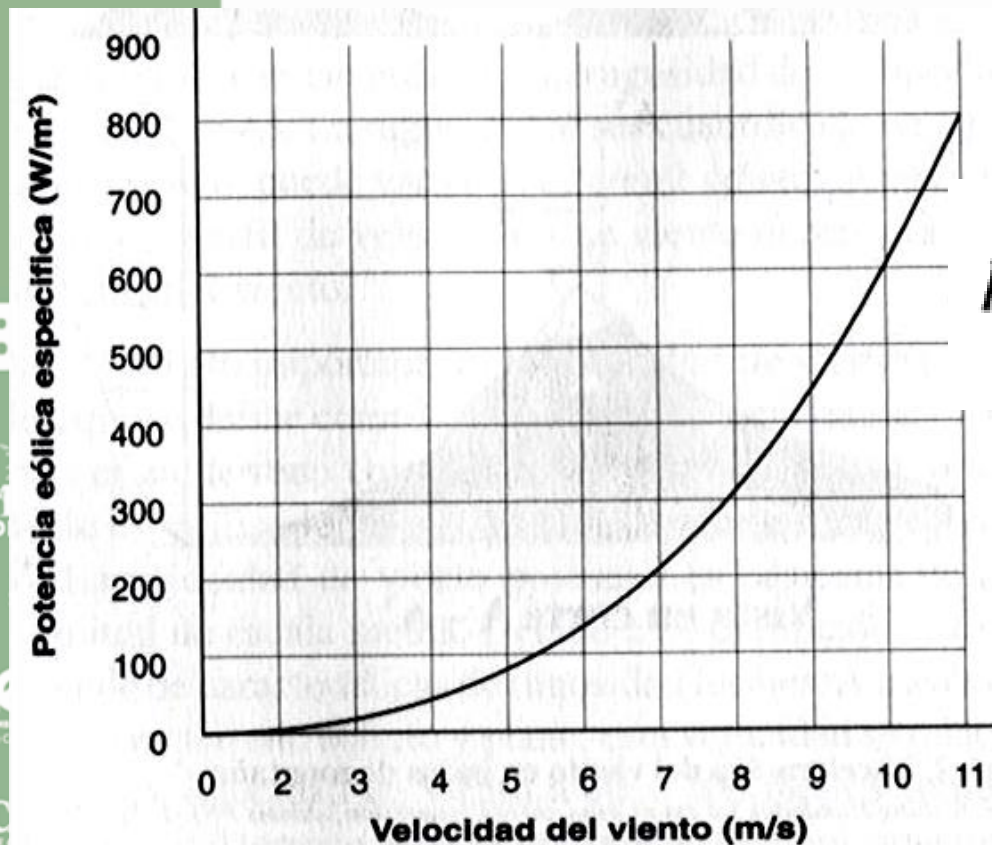
- La potencia extraíble del viento viene dada por la ecuación:

$$Pot = k \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$



# • Aspectos teóricos

Potencia eólica específica en función de la velocidad para condiciones normales de presión y temperatura



$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho V^3 \text{ (W/m}^2\text{)}$$



M  
FO

CAE  
CORPORACIÓN AEREA  
FI - Cámara de C

BB  
DE

Por nuestra sociedad

# Densidad del aire a diferentes alturas sobre el nivel del mar

| Altura sobre el nivel del mar (m) | Densidad de aire seco en kg/m <sup>2</sup> a: |       |
|-----------------------------------|---|-------|
|                                   | 20 °C   | 0°C   |
| 0                                 | 1,204   | 1,292 |
| 500                               | 1,134   | 1,217 |
| 1000                              | 1,068   | 1,146 |
| 1500                              | 1,005   | 1,078 |
| 2000                              | 0,945   | 1,014 |
| 2500                              | 0,887   | 0,952 |
| 3000                              | 0,833   | 0,894 |
| 3500                              | 0,781   | 0,839 |
| 4000                              | 0,732   | 0,786 |



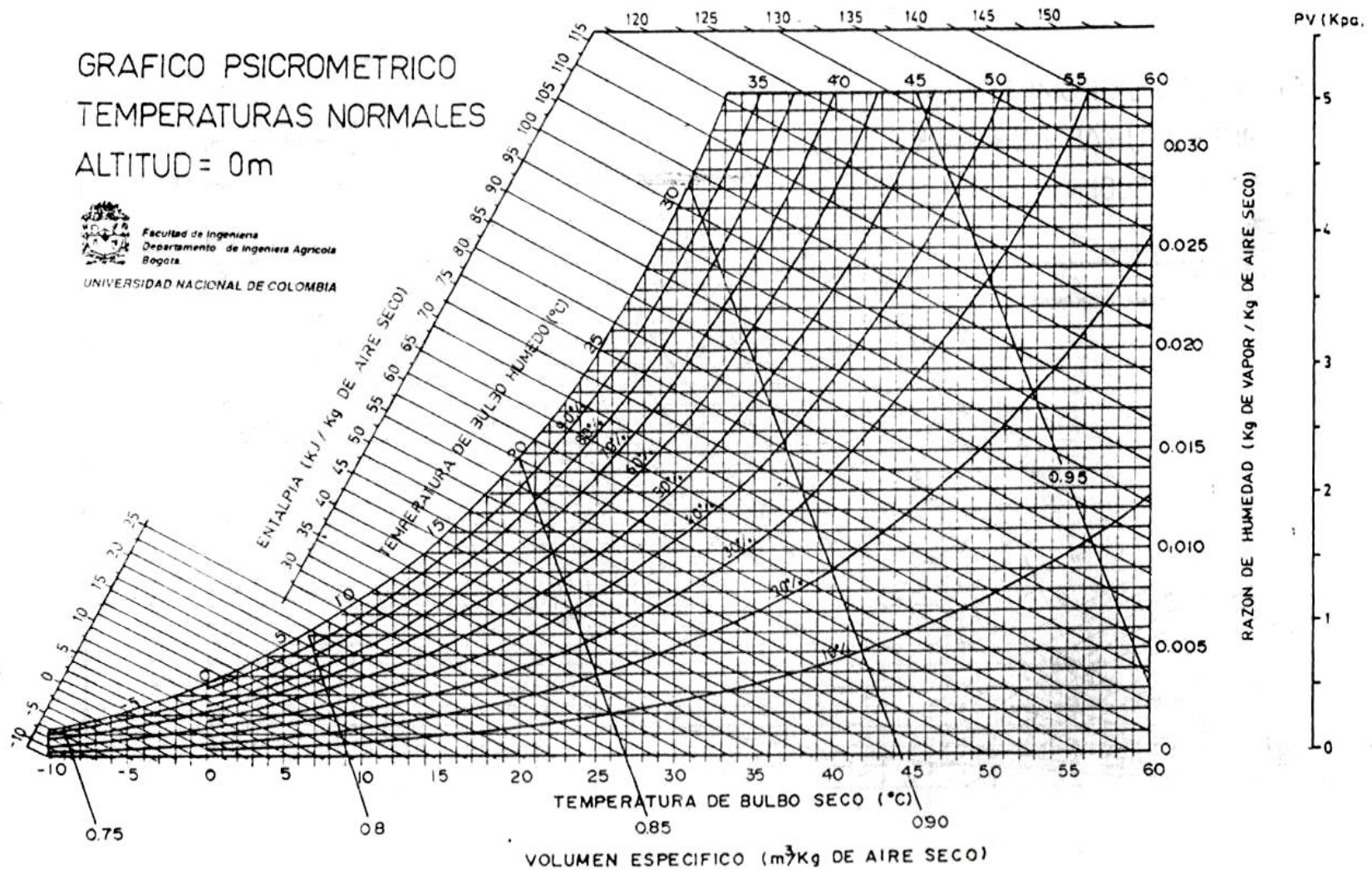


# GRAFICO PSICROMETRICO TEMPERATURAS NORMALES ALTITUD = 0m



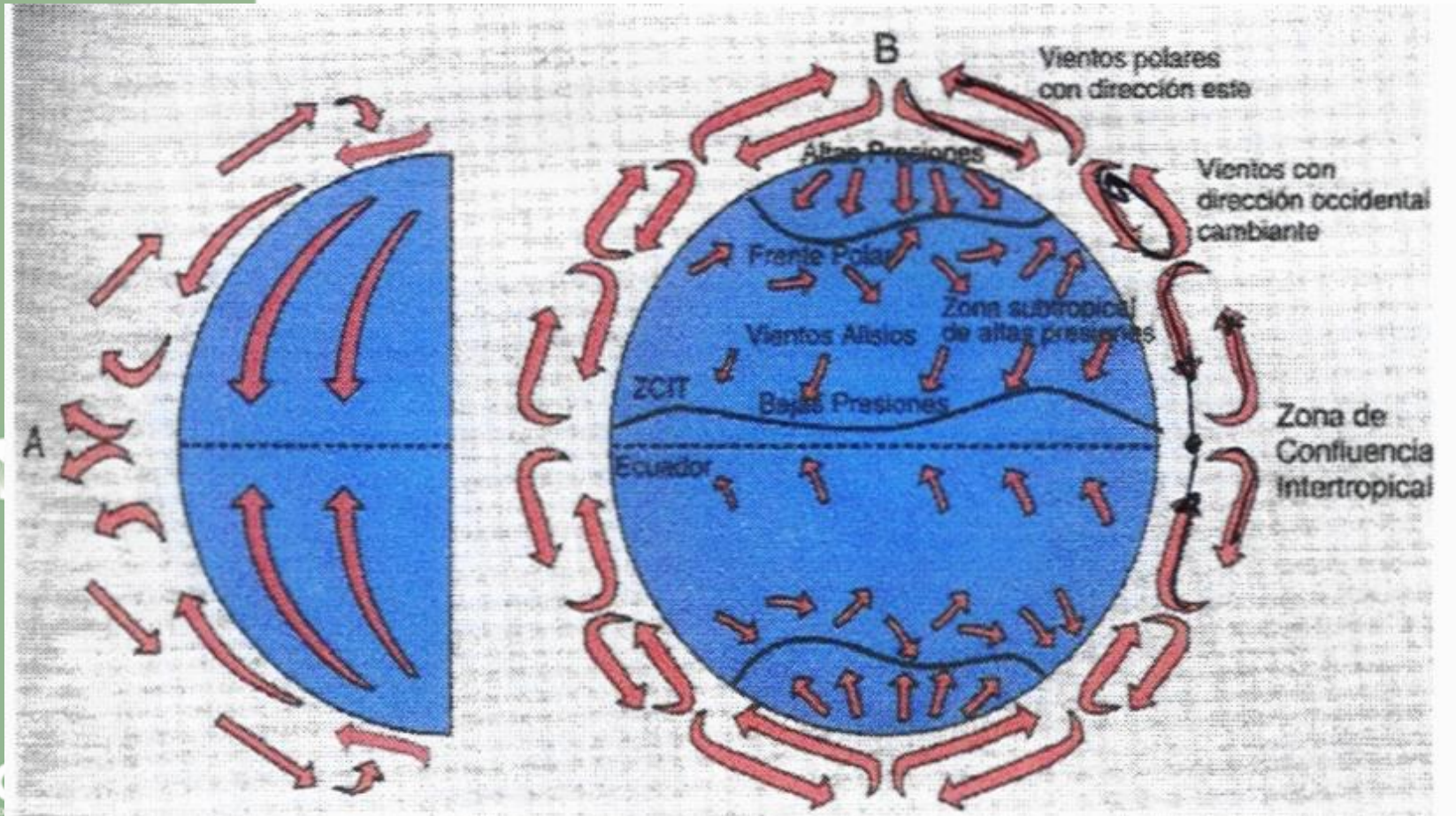
Facultad de Ingenieria  
Departamento de Ingenieria Agricola  
Bogota.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA





# GENERACION DE VIENTOS VIENTOS GLOBALES



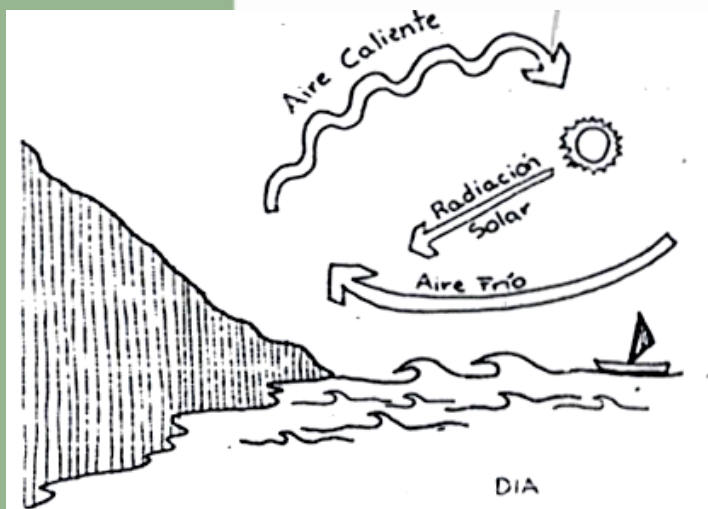
# VIENTOS LOCALES

Se producen por:

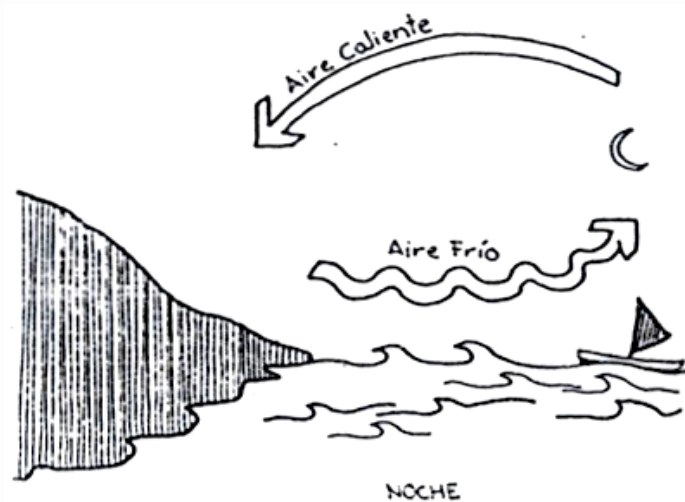
- Las diferencias de temperatura del aire.
- Las condiciones geográficas del lugar.

Los vientos locales afectan los vientos globales produciendo microsistemas climáticos. Por ejemplo Villa de Leiva es un microclima seco en medio de una zona húmeda.



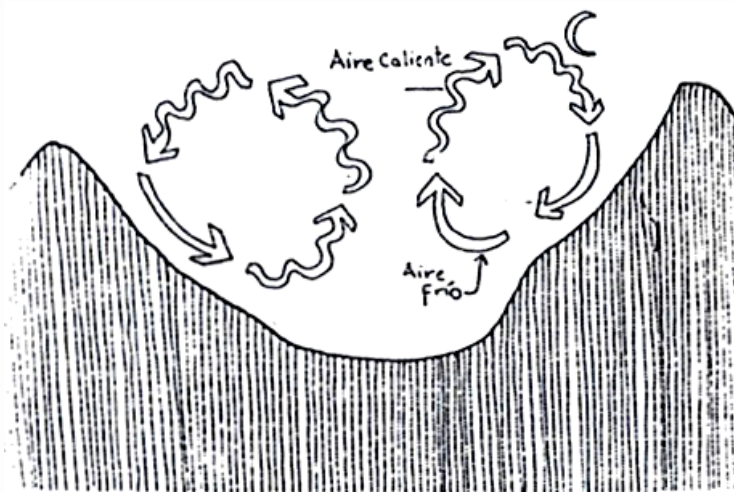
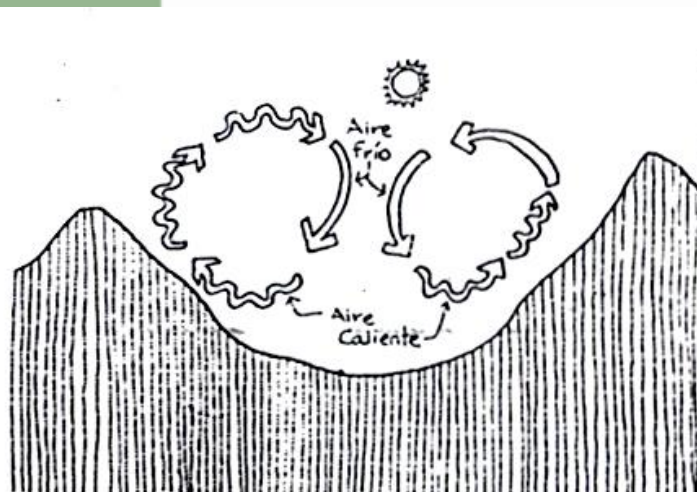


DIA



NOCHE

## Cambios de dirección de zonas costeras



## Cambios de dirección en valles y montañas



ME  
FOMI

cae

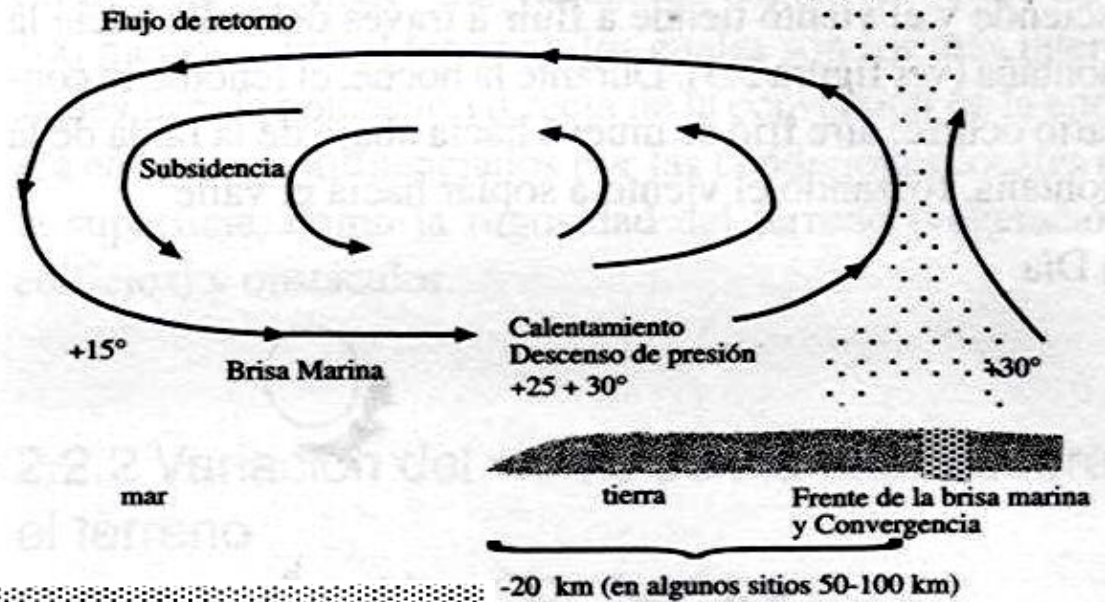
CORPORACIÓN AMBIENTAL ECOLÓGICA  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

**CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

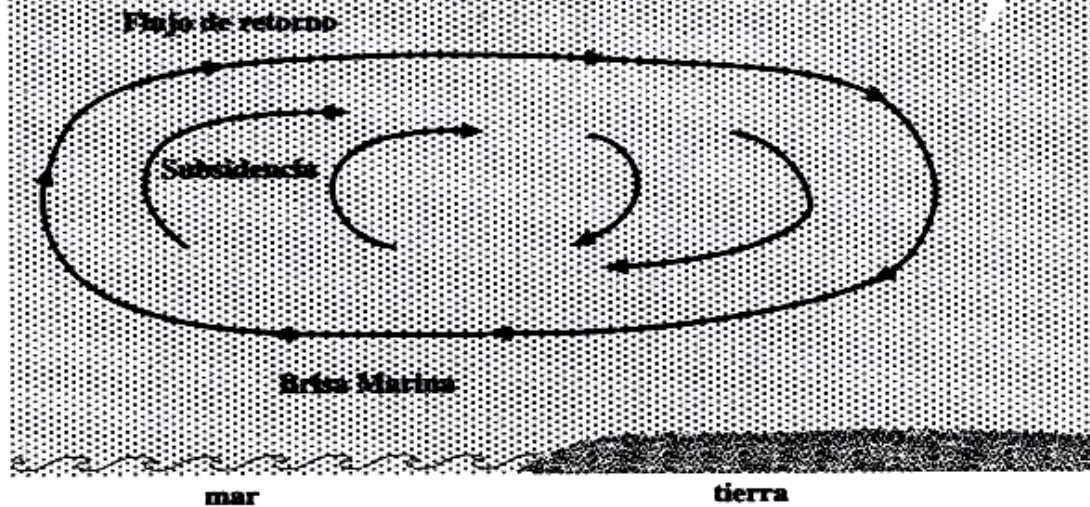


# Brisa Marina

## a) Día (Verano)

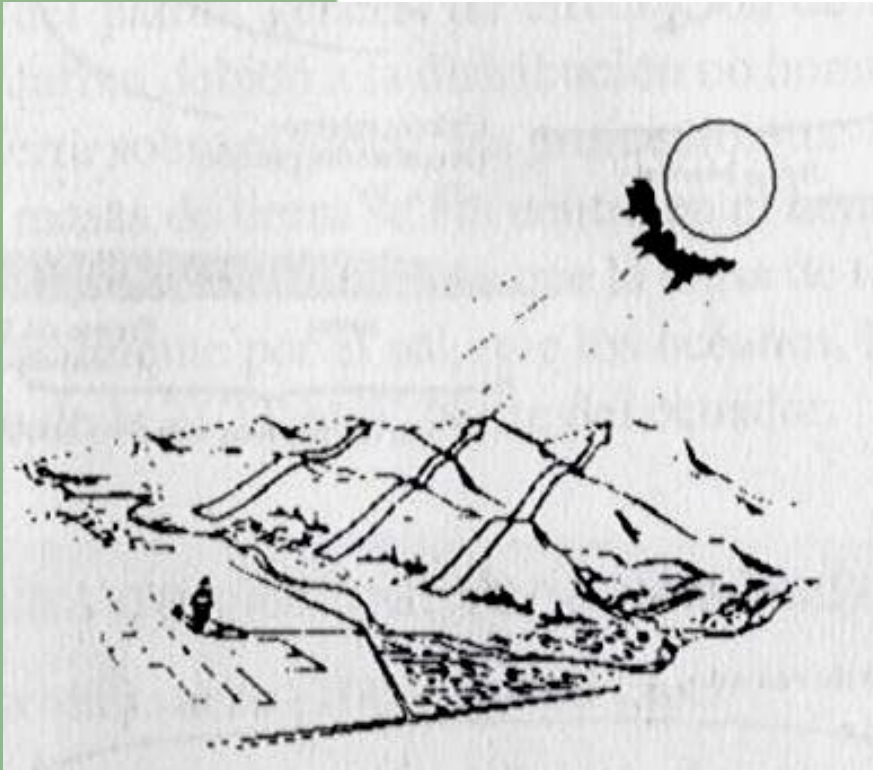


## b) Noche (Invierno)

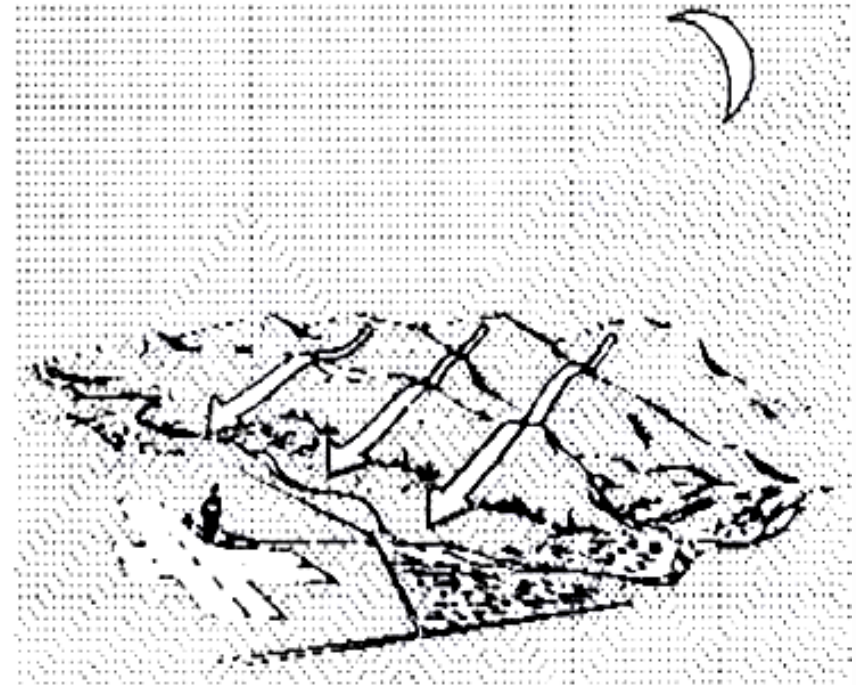


# Vientos de valle

Día

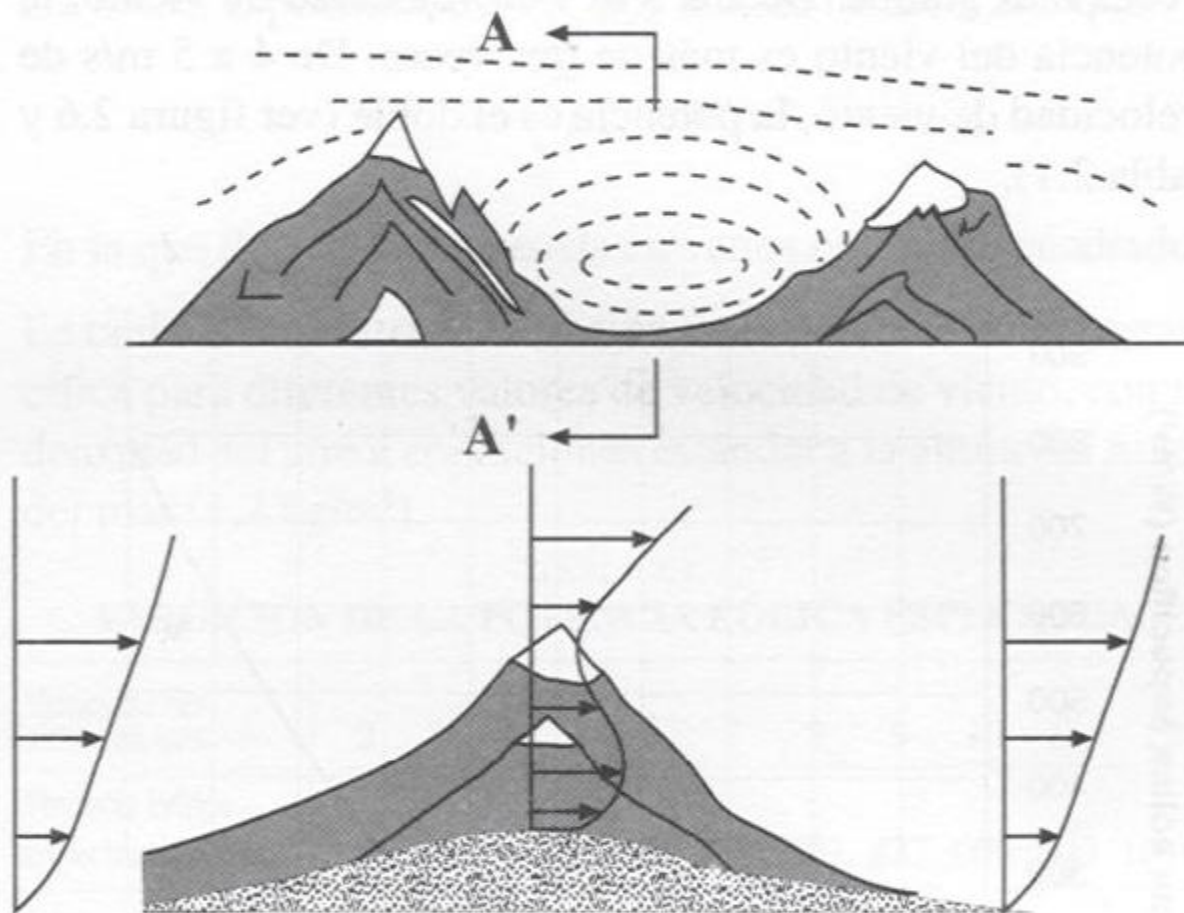


Noche



CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

# Aceleración del viento en pasos de montaña



Vista en corte A - A'

# VELOCIDAD DE LOS VIENTOS





# ESCALA DE BEAUFORT

0. Calma  
El humo sube  
perpendicularmente  
0-0,5  
m/seg.



Calma 0-0,5 m/s

1. Aire Ligero  
El humo sube  
con ligera  
inclinación  
0,6-1,7  
m/seg.



Aire ligero 0,5-1,7



2. Brisa Ligera  
Las hojas susurran;  
las veletas se

Brisa ligera 1,8- 3,3



3. Brisa Suave  
Las hojas y  
las ramas en  
constante vaivén

Brisa suave 3,4- 5,2

4. Brisa moderada  
Levanta polvo  
y papeles; mueve  
ramas pequeñas  
5,3-7,4  
m/seg.



Brisa moderada  
5,3 a 7,4

5. Brisa dura  
Los arbustos  
empiezan a  
moverse  
7,5-9,8  
m/seg.



Brisa dura 7,5 a  
9,8



6. Brisa Fuerte  
Las ramas  
grandes se

Brisa fuerte 9,9-  
12,4



7. Ventarrón  
moderado

Ventarrón moderado  
12,5 -15,2

8. Ventarrón  
duro  
Desprende  
ramas de  
los árboles  
15,3-18,2  
m/seg.



Ventarrón duro  
15,3 -18,2

9. Ventarrón  
fuerte  
Daña  
chimeneas  
y techos  
18,3-21,5  
m/seg.



Ventarrón fuerte  
18,3-21,5



Vendaval 21,6-  
25,1



Tormenta 25,2-  
28,9

12. Huracán

Huracán My.29

vientos  
29 m/seg.



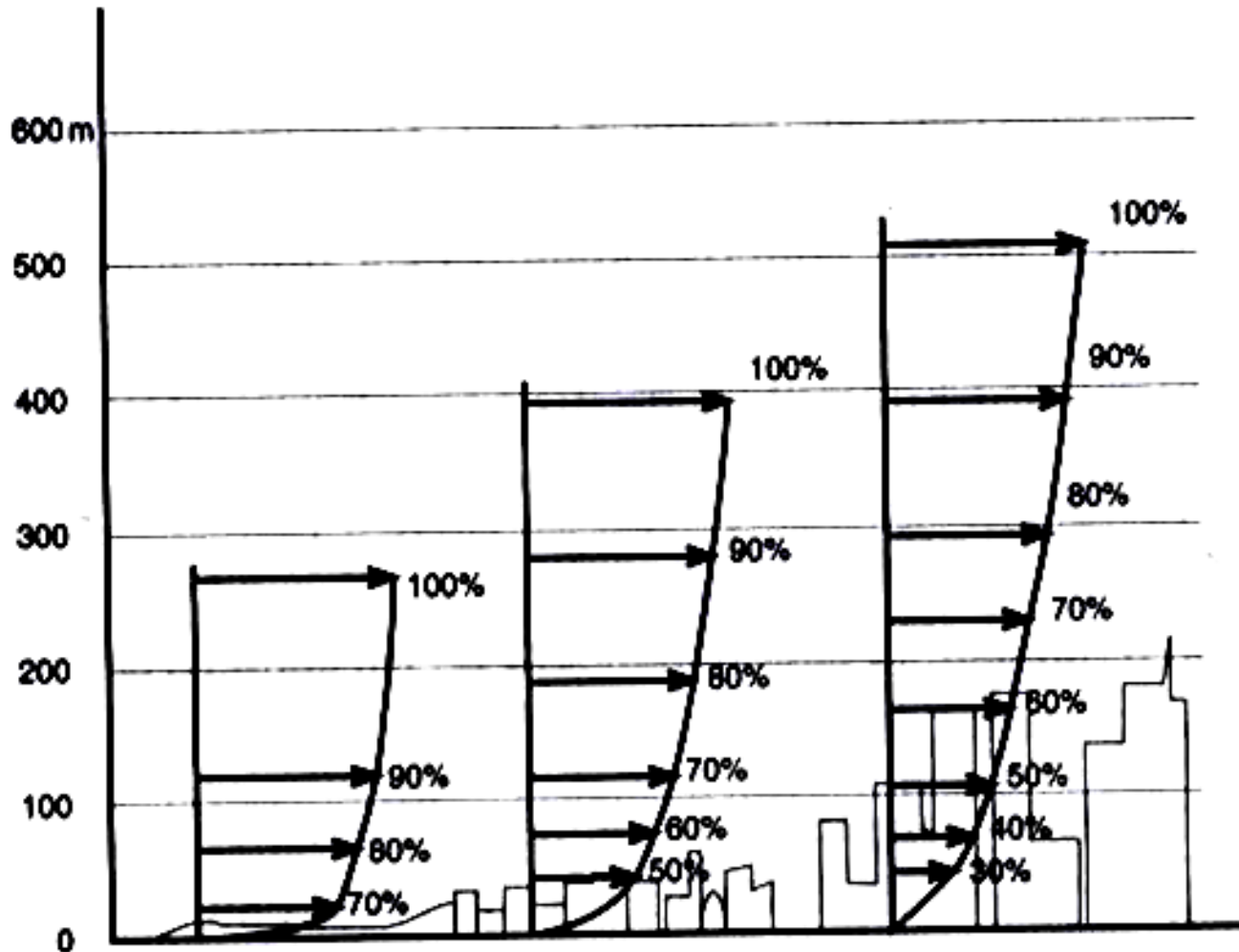


# VELOCIDADES NECESARIAS PARA APLICACIONES

| VELOCIDAD (M/S) | POSIBILIDAD DE GENERACION               |
|-----------------|---|
| 0 - 3.6         | Ninguno                                 |
| 3.6 – 5.8       | Bombeo de agua y generación muy pequeña |
| 5.8 – 8.5       | Producción útil de potencia eléctrica   |
| 8.5 – 11        | Excelentes perspectivas para generación |
| 11 -14          | Solamente para los SCEE muy robustos    |



# PERFILES DE VELOCIDAD DE VIENTO, EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DEL TERRENO



# RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION

La intensidad de la fuerza del viento es afectada por el relieve del terreno. La velocidad es más elevada sobre las colinas que en los valles.

Para ubicar los molinos debe hacerse un estudio de las características del sitio, porque en una parcela puedo haber lugares óptimos y sitios poco favorables.

Las colinas con pendientes fuertes son menos favorables por presentar turbulencia.



ME  
FOMI

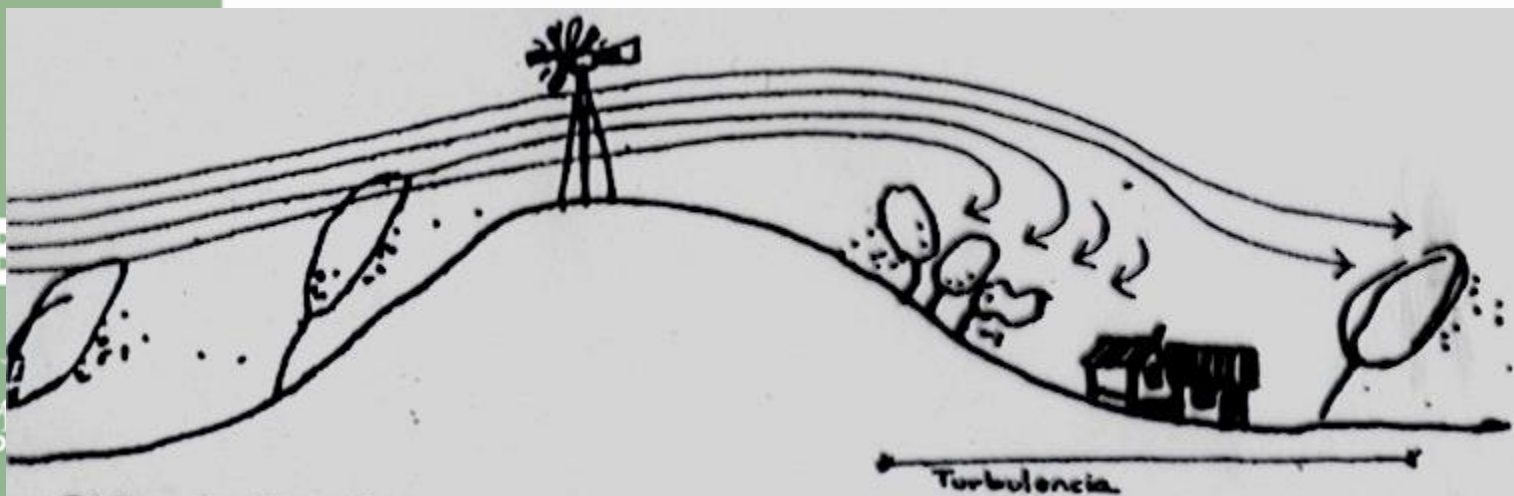
cae  
CORPORACIÓN AMBIENTAL  
F1 | Cámara de Comercio

CAMARA  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad



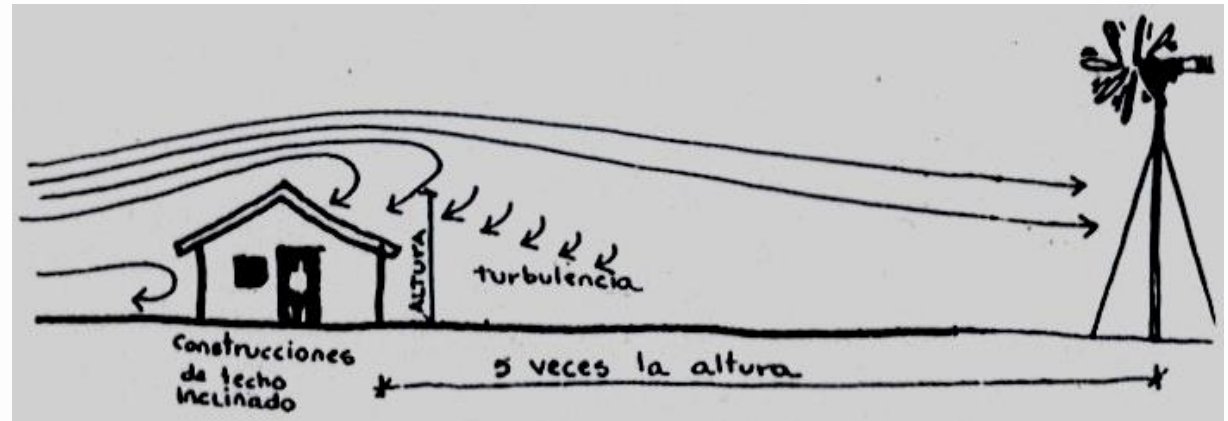
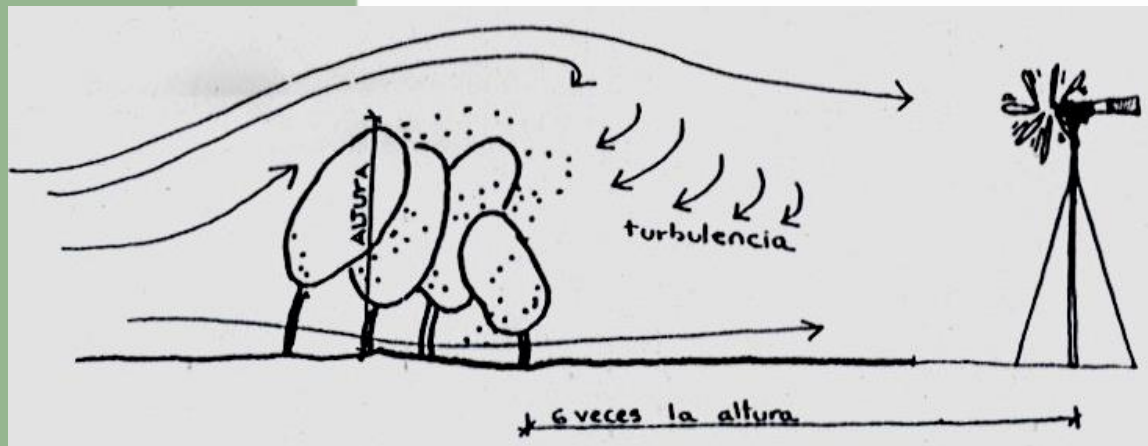


M  
FO



**caem**  
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
Fili. Cámara de Comercio de Bogotá

**CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad



# TIPOS DE SISTEMAS EOLICOS

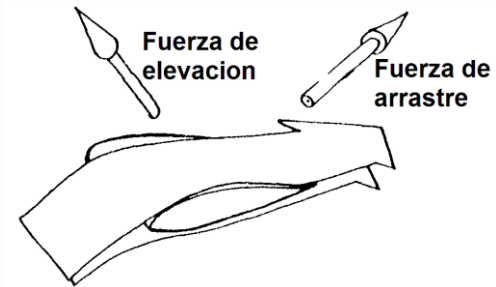
- Eje Horizontal
- Eje Vertical



## MOLINOS DE EJE HORIZONTAL

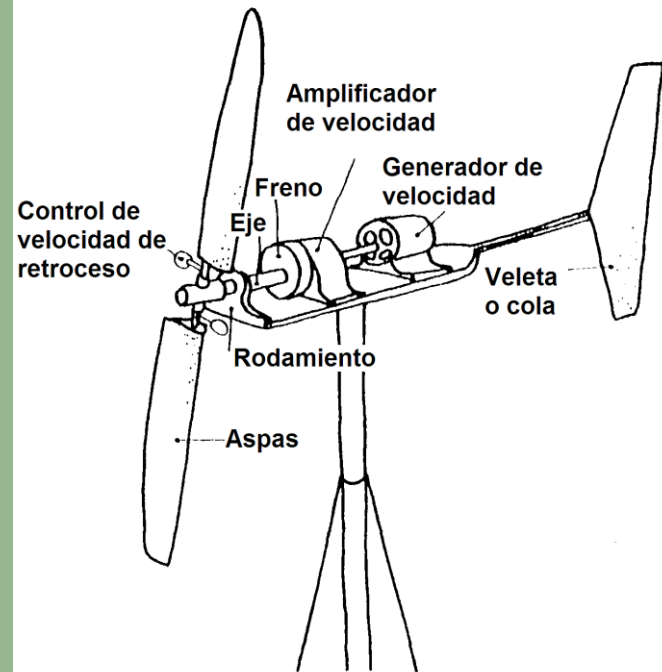
Los molinos rápidos especialmente diseñados para la generación de energía eléctrica (aerogeneradores), se componen de una a cuatro aspas construidas en forma aerodinámica (como hélices) con el fin de lograr altas velocidades y un buen arranque

La generación de movimiento se obtiene por la presión de la corriente de aire incidente sobre la forma del aspa



Estas características hacen que los molinos rápidos sean de construcción más compleja, pero de mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica.

Las altas velocidades que se logran con el molino de viento rápido (más de 100 revoluciones por minuto) se aproximan a la velocidad necesaria para producir energía eléctrica por medio de un dinamo o un alternador. Normalmente se necesita un amplificador de velocidad.





# ENERGIA MECANICA



CC  
CORPORACIÓN  
DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

BB  
CORPORACIÓN  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

# ENERGIA ELECTRICA

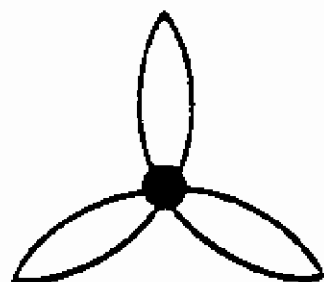
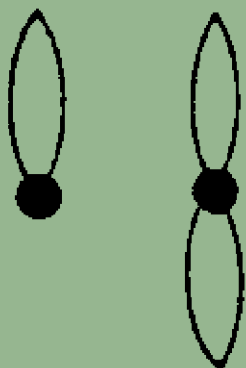


COM  
FI

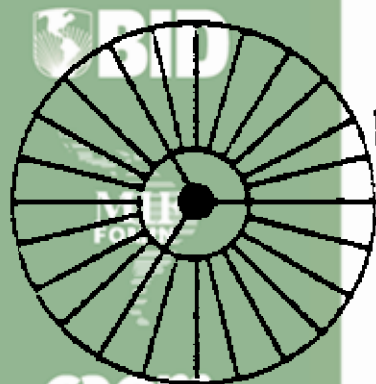
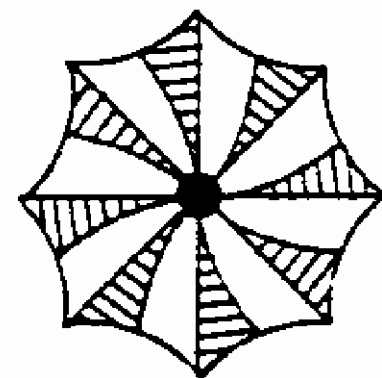
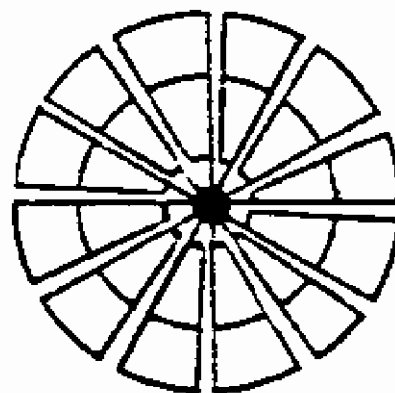


Por medio de...

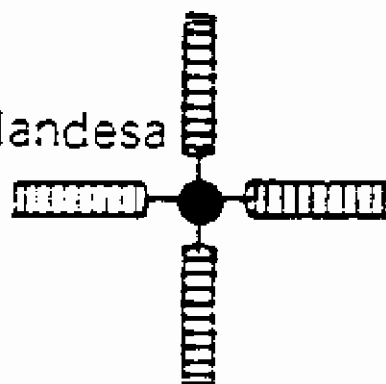
# ROTORES DE EJE HORIZONTAL



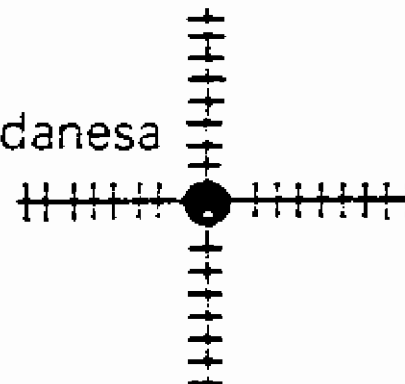
hélice



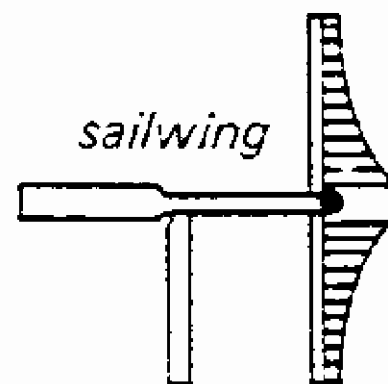
holandesa



danesa



*sailwing*

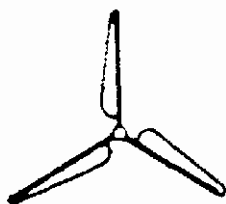




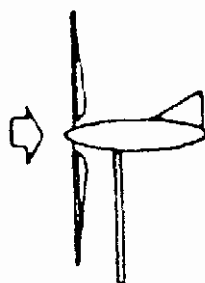
Un  
aspa



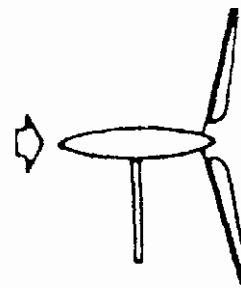
Dos  
aspas



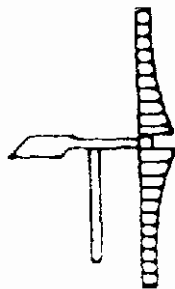
Tres aspas



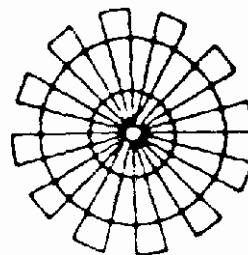
Viento arriba



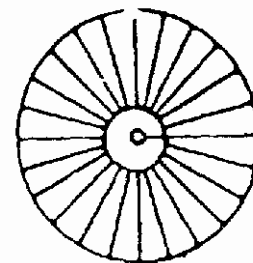
Viento abajo



Vela



Multiaspas



Bicicleta

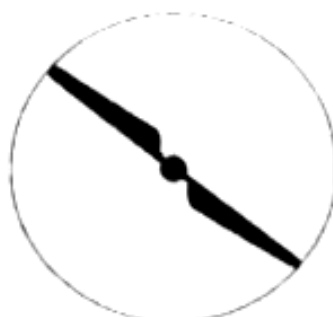
Multirrotor



# Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje horizontal



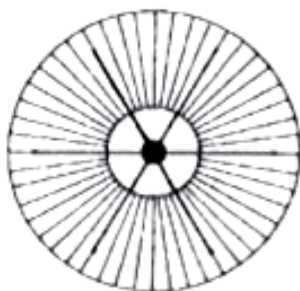
MONOPALA



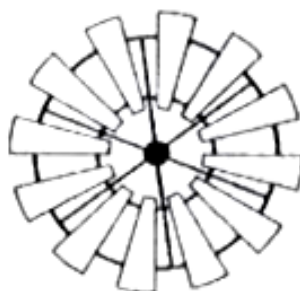
BIPALA



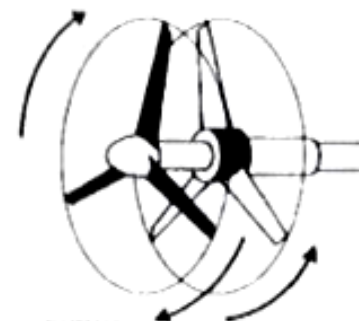
TRIPALA



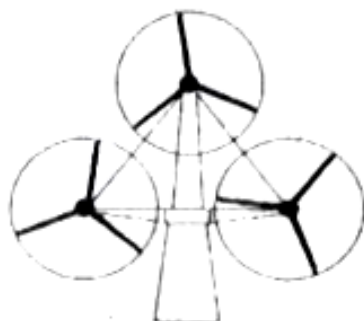
MULTIPALA



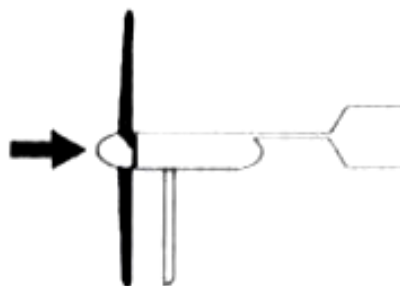
MULTIPALA AMERICANO



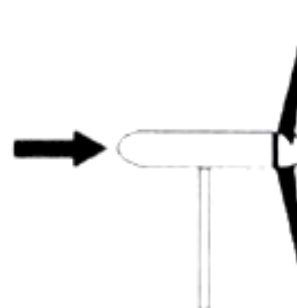
BIRELICE



MULTIPROTOR



ROTOR A BARLOVENTO



ROTOR A SOTAVENTO







# TIPOS DE SISTEMAS EOLICOS



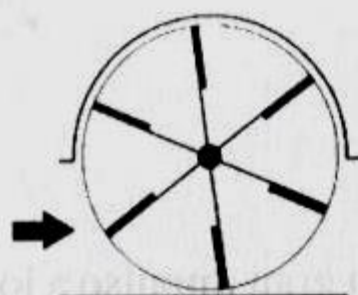
- Eje Vertical



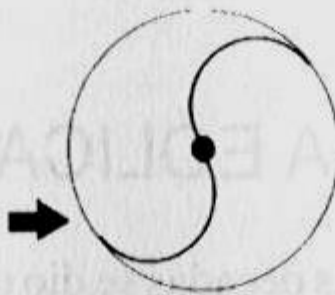


## MÁQUINAS DE EJE VERTICAL.

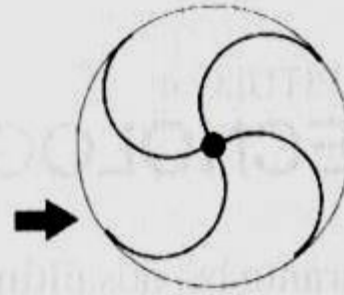




VISTA SUPERIOR - TIPO PERSA



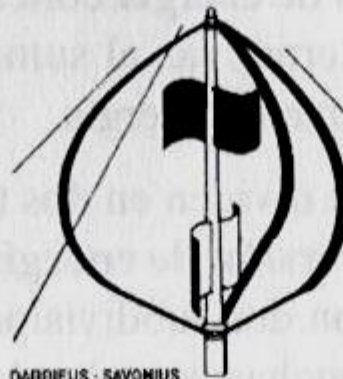
VISTA SUPERIOR - SAVONIUS BIPALA



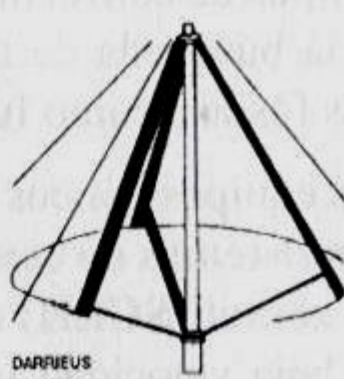
VISTA SUPERIOR - SAVONIUS CUATROPALA



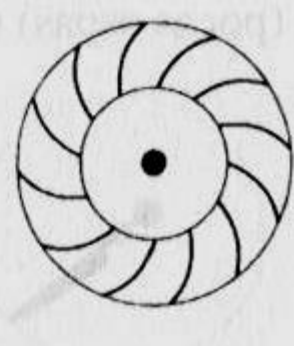
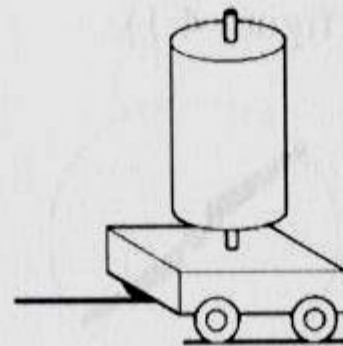
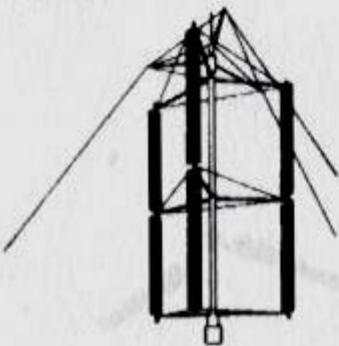
DARRIEUS



DARRIEUS - SAVONIUS

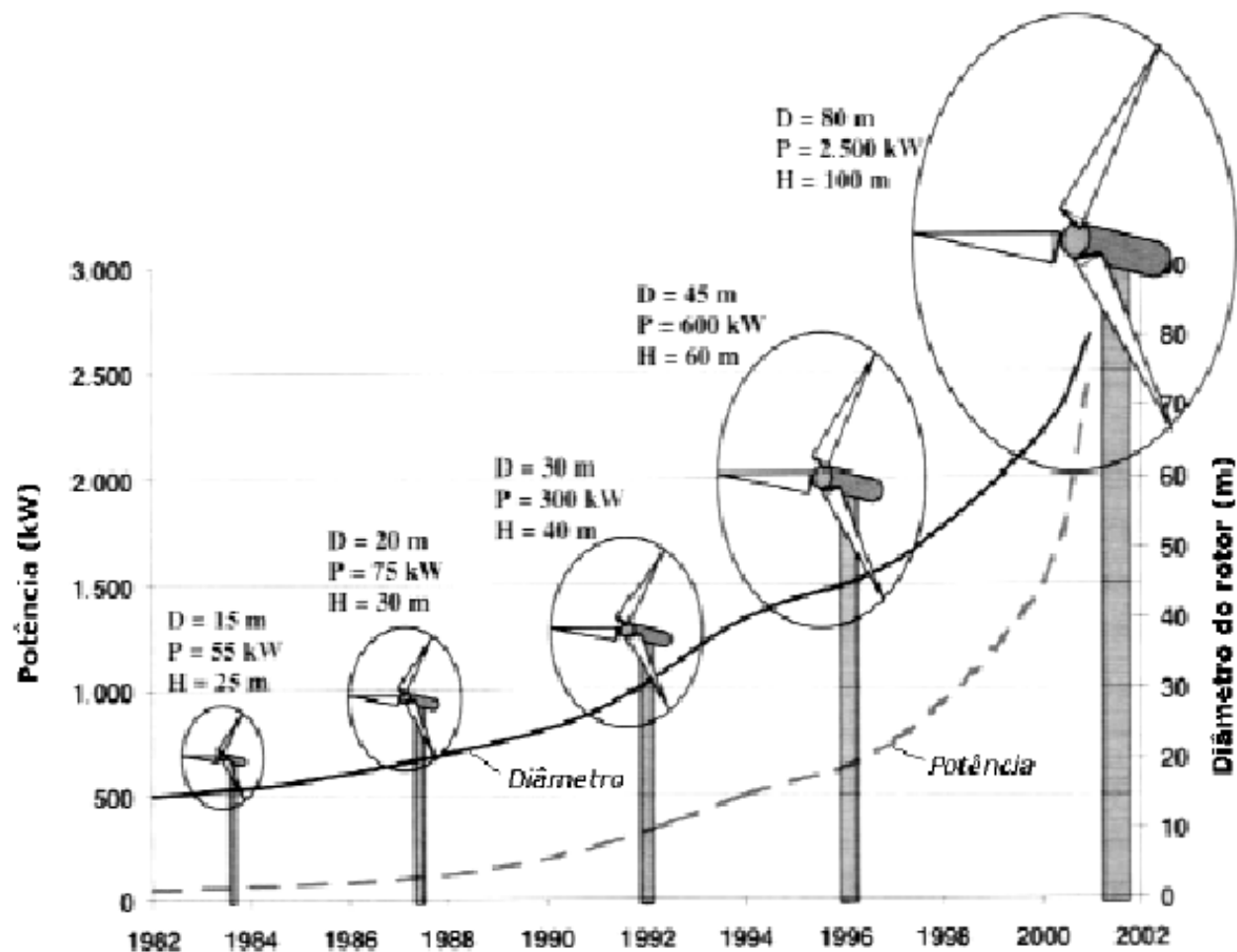


DARRIEUS



Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje vertical

# EVOLUCION DE LOS SISTEMAS EOLICOS

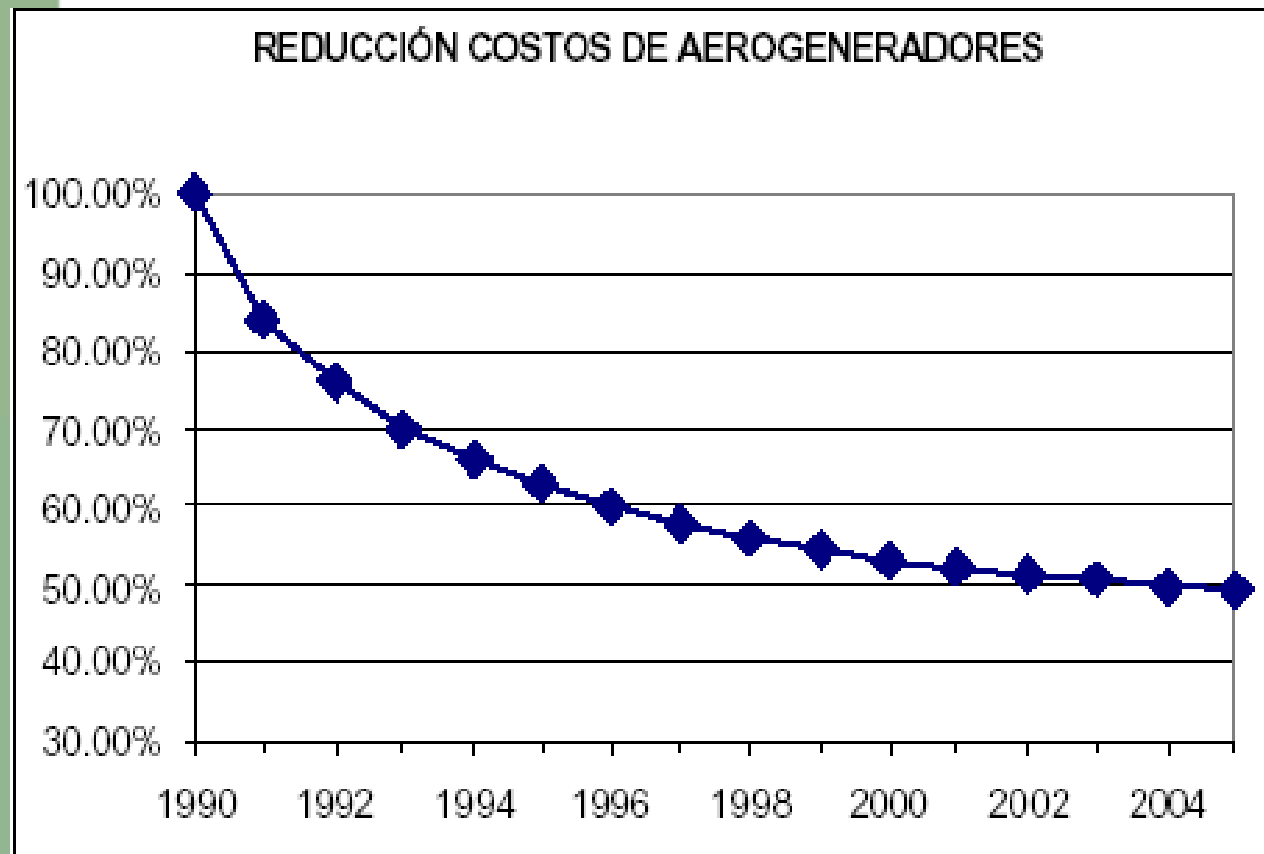


ME  
FOM

CAE  
CORPORACIÓN AMBIENTAL  
F1.1 Cámara de Comercio

CB  
CAMARA  
DE COMERCIO DE BOGOTA  
Por nuestra sociedad

# •EVOLUCION DE COSTOS DE INVERSION



# CASO COLOMBIA

## Velocidad del viento en superficie

República de Colombia

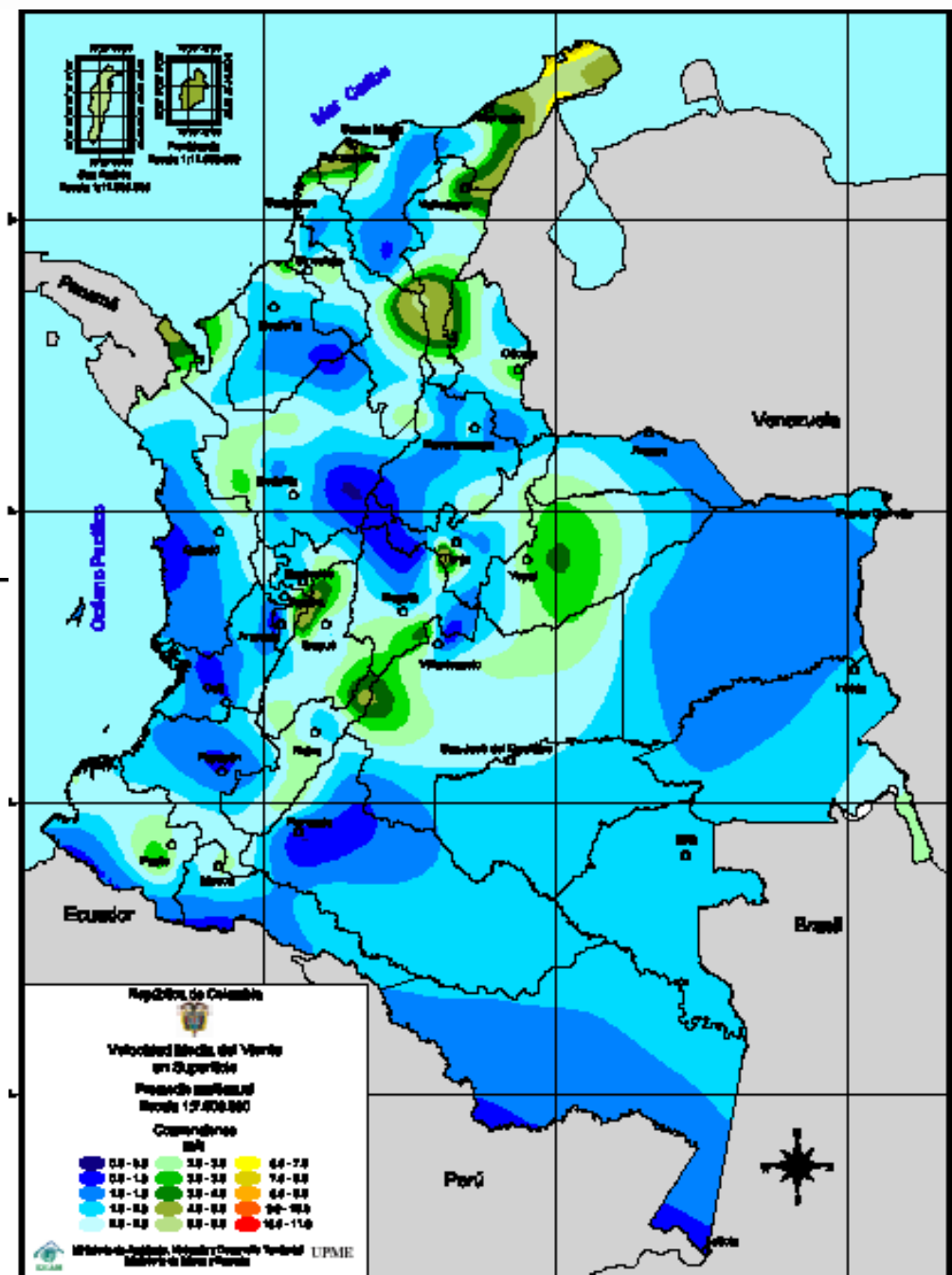


Velocidad Media del Viento  
en Superficie

Promedio multianual  
Escala 1:7.000.000

Convenciones  
m/s

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| 0.0 - 0.5 | 2.5 - 3.0 | 8.0 - 7.0 |
| 0.5 - 1.0 | 3.0 - 3.5 | 7.0 - 6.0 |
| 1.0 - 1.5 | 3.5 - 4.0 | 6.0 - 5.0 |
| 1.5 - 2.0 | 4.0 - 5.0 | 5.0 - 4.0 |
| 2.0 - 2.5 | 5.0 - 6.0 | 4.0 - 3.0 |
|           |           | 3.0 - 2.0 |
|           |           | 2.0 - 1.0 |
|           |           | 1.0 - 0.5 |
|           |           | 0.5 - 0.0 |





# •Caso Colombia

Densidad de energía  
eólica a 20 metros de  
altura

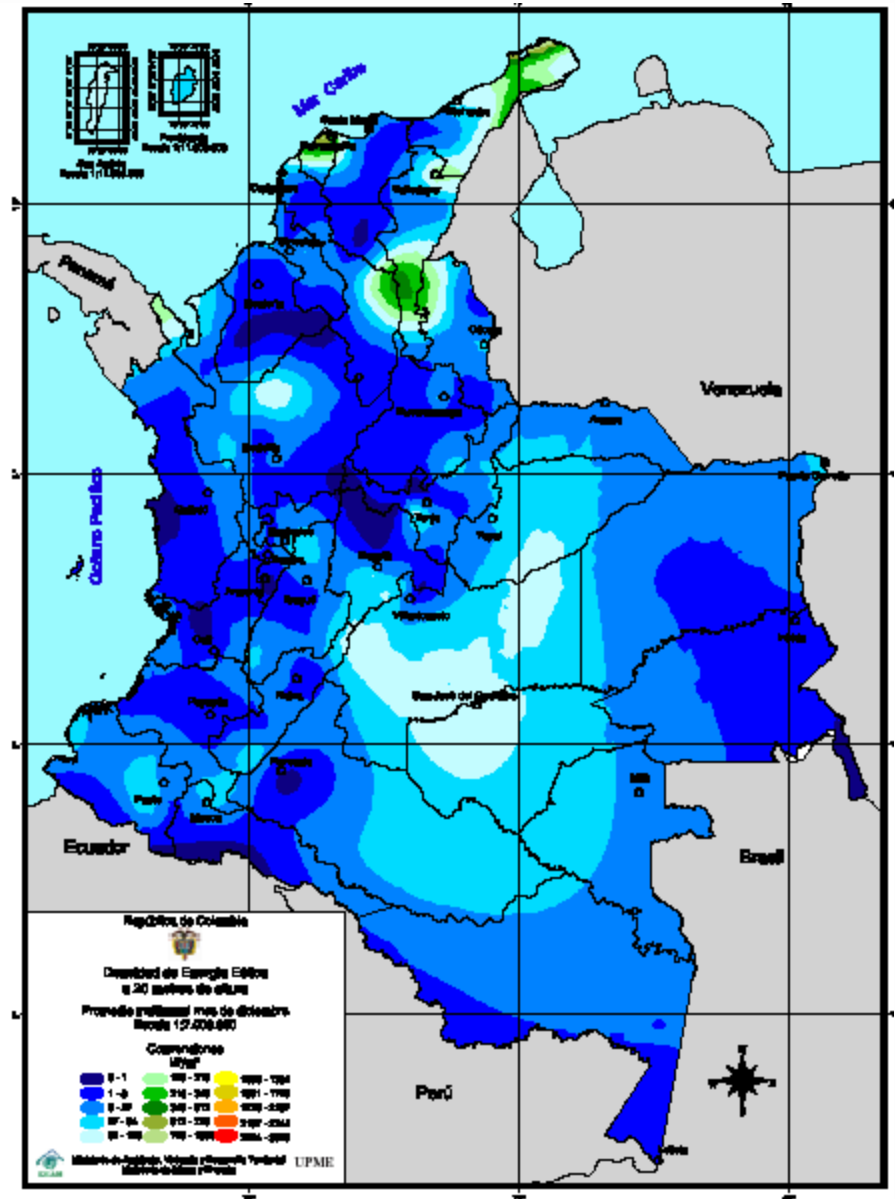
República de Colombia



Densidad de Energía Eólica  
a 20 metros de altura

Promedio multianual  
Escala 1:7.000.000

Convenciones  
W/m<sup>2</sup>



# •Caso Colombia

Densidad de energía  
eólica a 50 metros de  
altura

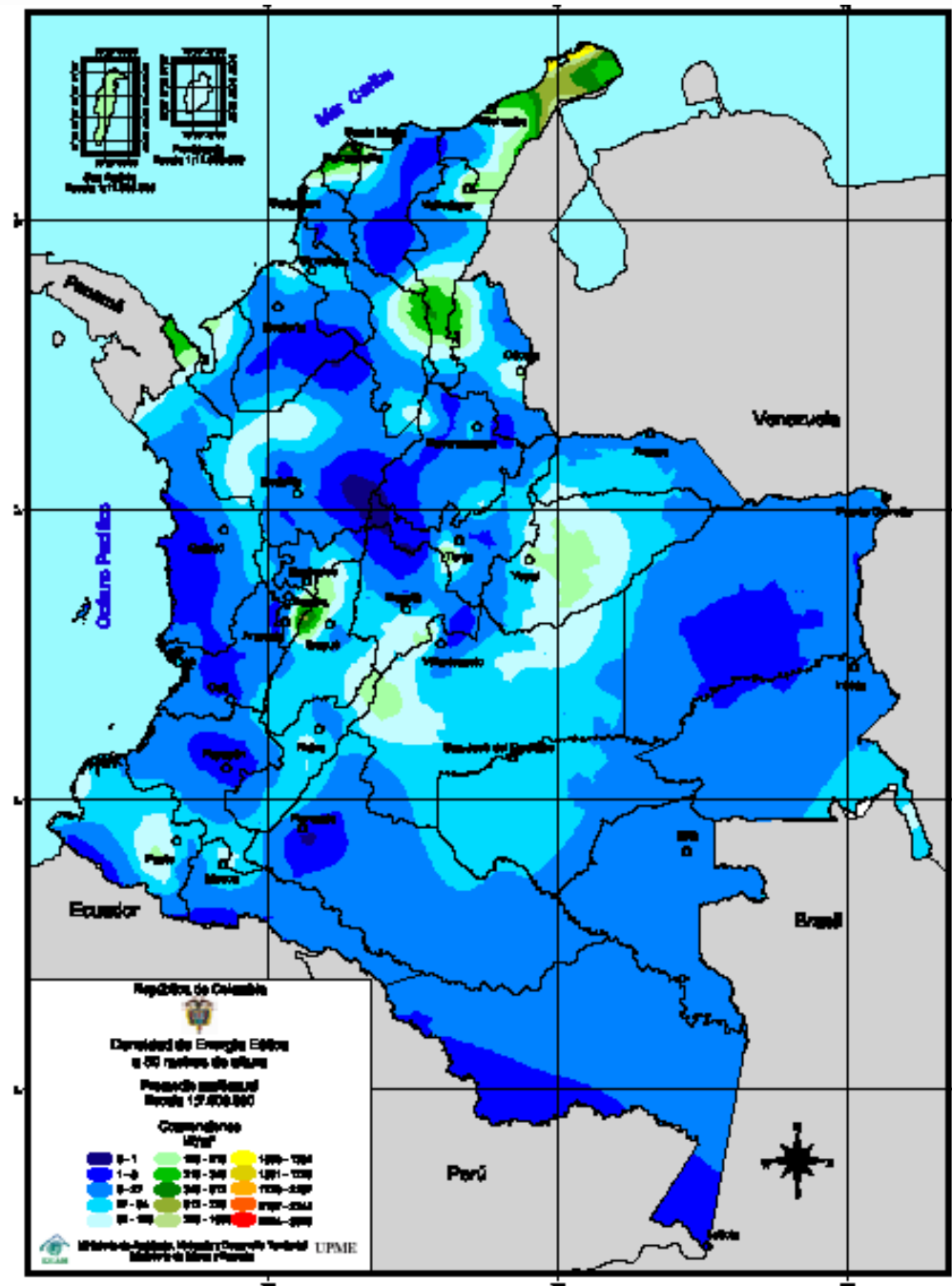
República de Colombia



Densidad de Energía Eólica  
a 50 metros de altura

Promedio multianual  
Escala 1:7.000.000

Convenciones  
W/m<sup>2</sup>





# Energía y velocidad media anual del viento en el territorio colombiano

| Departamento | Nombre Municipio | Energía (kilovatio-h/m2 año) | Velocidad del viento en M/seg | Dirección predominante |
|--------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Cundinamarca | Choconta         | 72.862                       | 1,83                          | Oriente                |
|              | Guatavita        | 135.902                      | 2,41                          | Oriente                |
|              | Tabio            | 34.921                       | 1,42                          | Norte                  |
|              | Subachoque       | 115.067                      | 2,13                          | Oriente                |
|              | Suba             | 119.820                      | 1,88                          | Occidente              |
|              | Madrid           | 632.927                      | 4,01                          | Sur – Occidente        |
|              | Fontibón         | 160.113                      | 1,88                          | Nor – Oriente          |
|              | Sibaté           | 100.029                      | 1,81                          | Occidente              |
|              | Neusa            | 34.323                       | 1,66                          |                        |
| Tolima       | Ibague           | 755.579                      | 3,67                          | Sur                    |
|              | Flandes          | 333.438                      | 2,93                          | Sur                    |
|              | Espinal          | 161.851                      | 2,57                          | Norte                  |
|              | Mariquita        | 622.59                       | 2,01                          | Sur                    |
| Risaralda    | Pereira          | 74879                        | 1,61                          | Sur                    |
| Antioquia    | Rionegro         | 52.607                       | 0,91                          | Oriente                |
|              | Remedios         | 105.413                      | 1,88                          | Norte                  |
|              | Turto            | 465.550                      | 3,17                          | Norte                  |
| Bolívar      | Cartagena        | 914.628                      | 3,75                          | Norte                  |
| Atlántico    | Repelón          | 166.509                      | 2,59                          | Sur – oriente          |
| Sucre        | San Marcos       | 124.667                      | 1,69                          | Sur                    |
| Córdoba      | Lorica           | 211.509                      | 2,54                          | Nor – Occidente        |
|              | Cerete           | 291.318                      | 1,46                          | Occidente              |



| Departamento       | Nombre Municipio  | Energía (kilovatio-h/m2<br>año) | Velocidad del viento en<br>M/seg | Dirección<br>predominante |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Norte de Santander | Cúcuta            | 1048.647                        | 4,10                             | Sur – Occidente           |
|                    | Tibú              | 130.804                         | 1,76                             | Sur                       |
|                    | Abrego            | 215.411                         | 2,53                             |                           |
| Santander          | Pinchonte         | 76.587                          | 2,00                             | Oriente                   |
| Boyacá             | Gulcan            | 94.918                          | 2,45                             | Nor – Occidente           |
| Valle              | Cali              | 83.343                          | 1,17                             | Occidente                 |
|                    | Palmira           | 51.298                          | 1,65                             | Norte                     |
|                    | Buenaventura      | 53.449                          | 0,79                             | Occidente                 |
| Cauca              | Popayán           | 17.811                          | 0,46                             | Nor – Occidente           |
|                    | Guapí             | 155.867                         | 1,39                             | Norte                     |
| Nariño             | Pasto             | 317.253                         | 3,54                             | Sur – Occidente           |
|                    | Tumaco            | 32.518                          | 1,16                             | Norte                     |
| Huila              | Neiva             | 536.036                         | 2,73                             | Sur                       |
|                    | Colombia          | 677.713                         | 4,47                             | Oriente                   |
| Putumayo           | Puerto Leguízamo  | 46.441                          | 1,62                             | Occidente                 |
| Vichada            | San Jose de Ocune | 258.383                         | 2,12                             | Norte                     |
| Meta               | Villavicencio     | 260.654                         | 2,35                             | Occidente                 |
|                    | Puerto Lopez      | 68.900                          | 1,95                             | Oriente                   |
| Amazonas           | Leticia           | 14.885                          | 0,54                             | Sur Occidente             |
| Guajira            | Riohacha          | 707.330                         | 4,65                             | Oriente                   |
|                    | Maicao (interior) | 181.140                         | 2,65                             | Oriente                   |
|                    | Maicao            | 442.410                         | 4,23                             | Oriente                   |
|                    | Uribia            | 447.820                         | 4,75                             | Oriente                   |
|                    | Cabo de la Vela   | 1735.640                        | 7,28                             | Oriente                   |

# BIOMASA

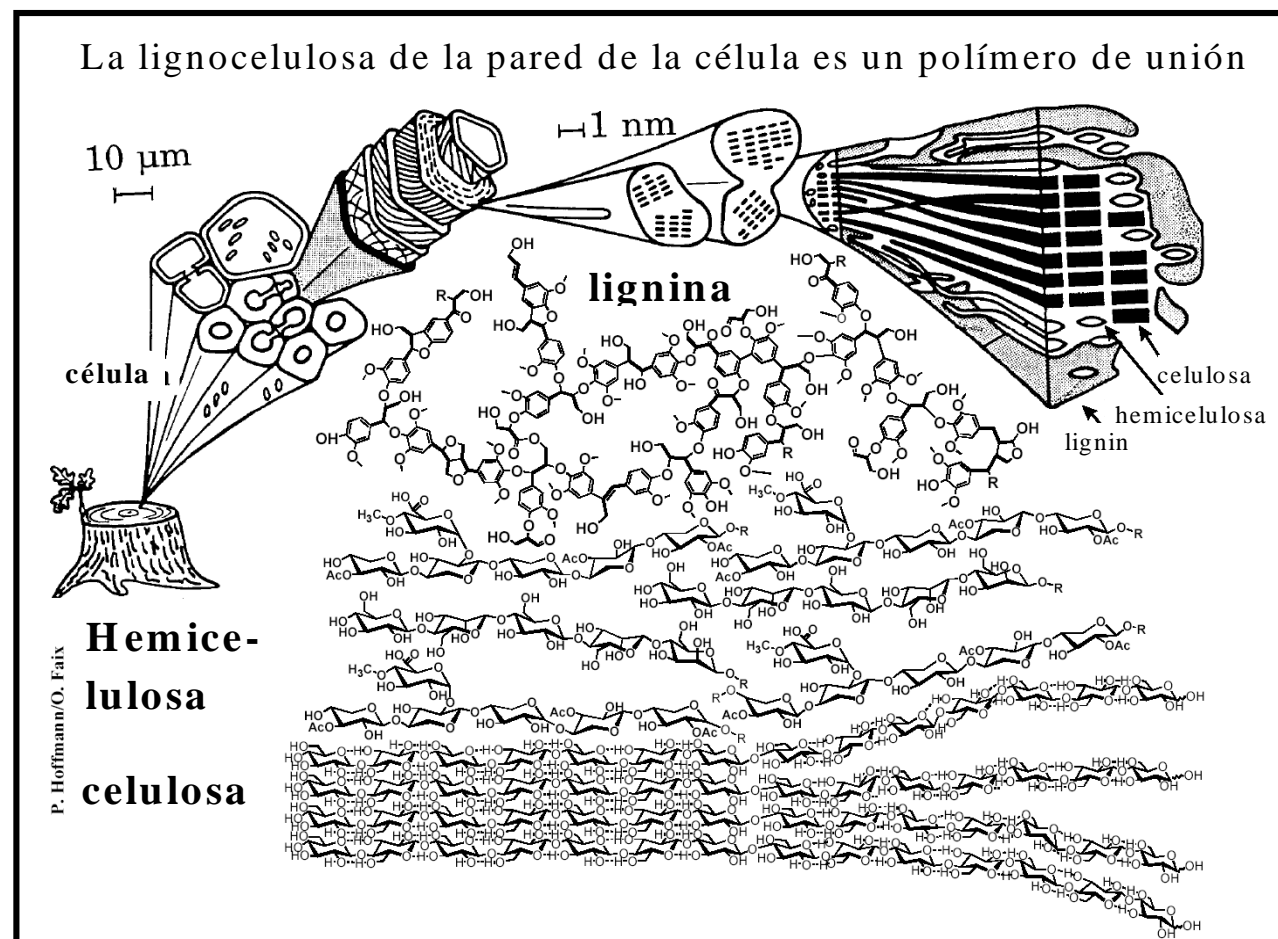


# MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE BIOMASA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE.

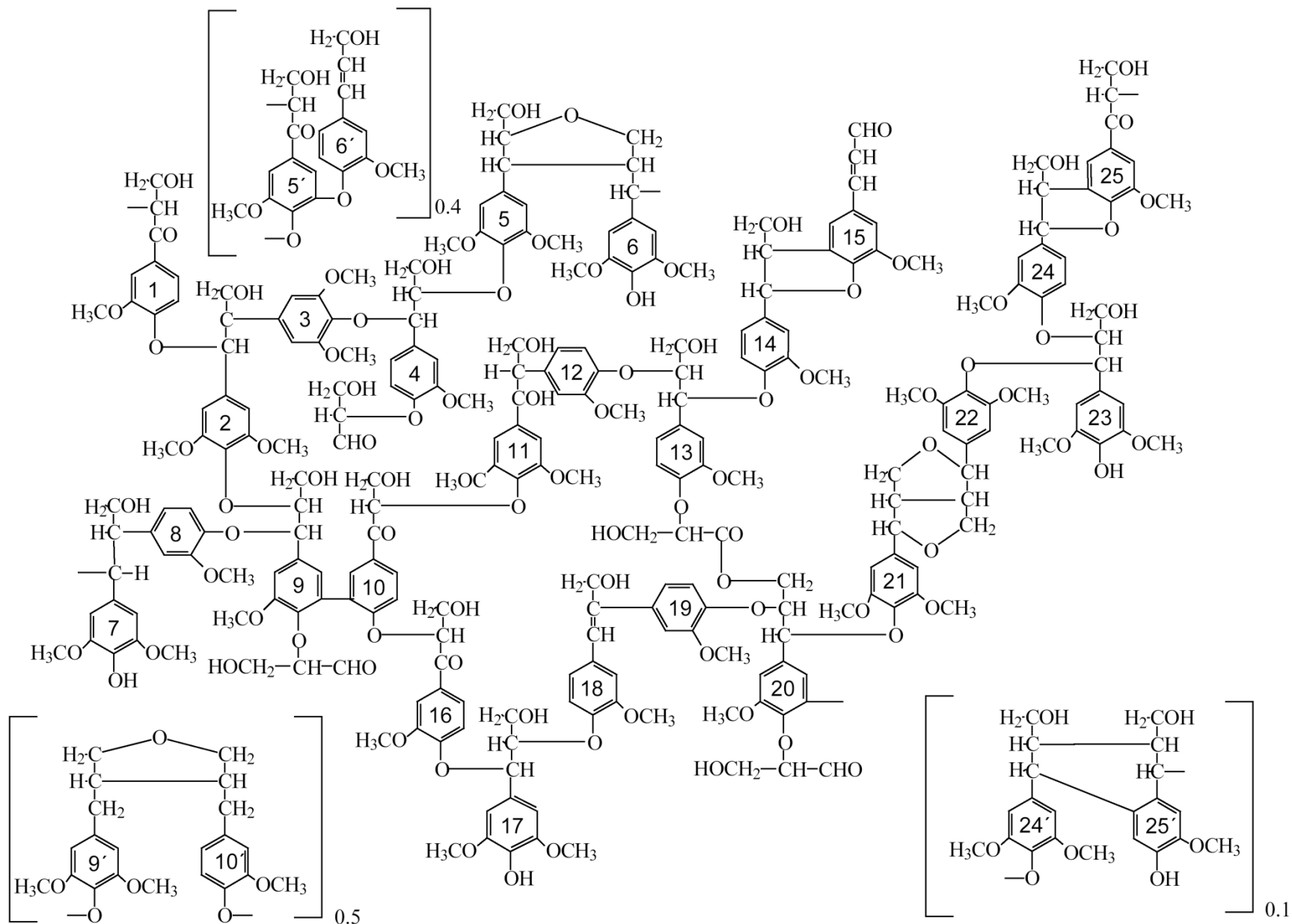


# COMPOSICION DE LA BIOMASA

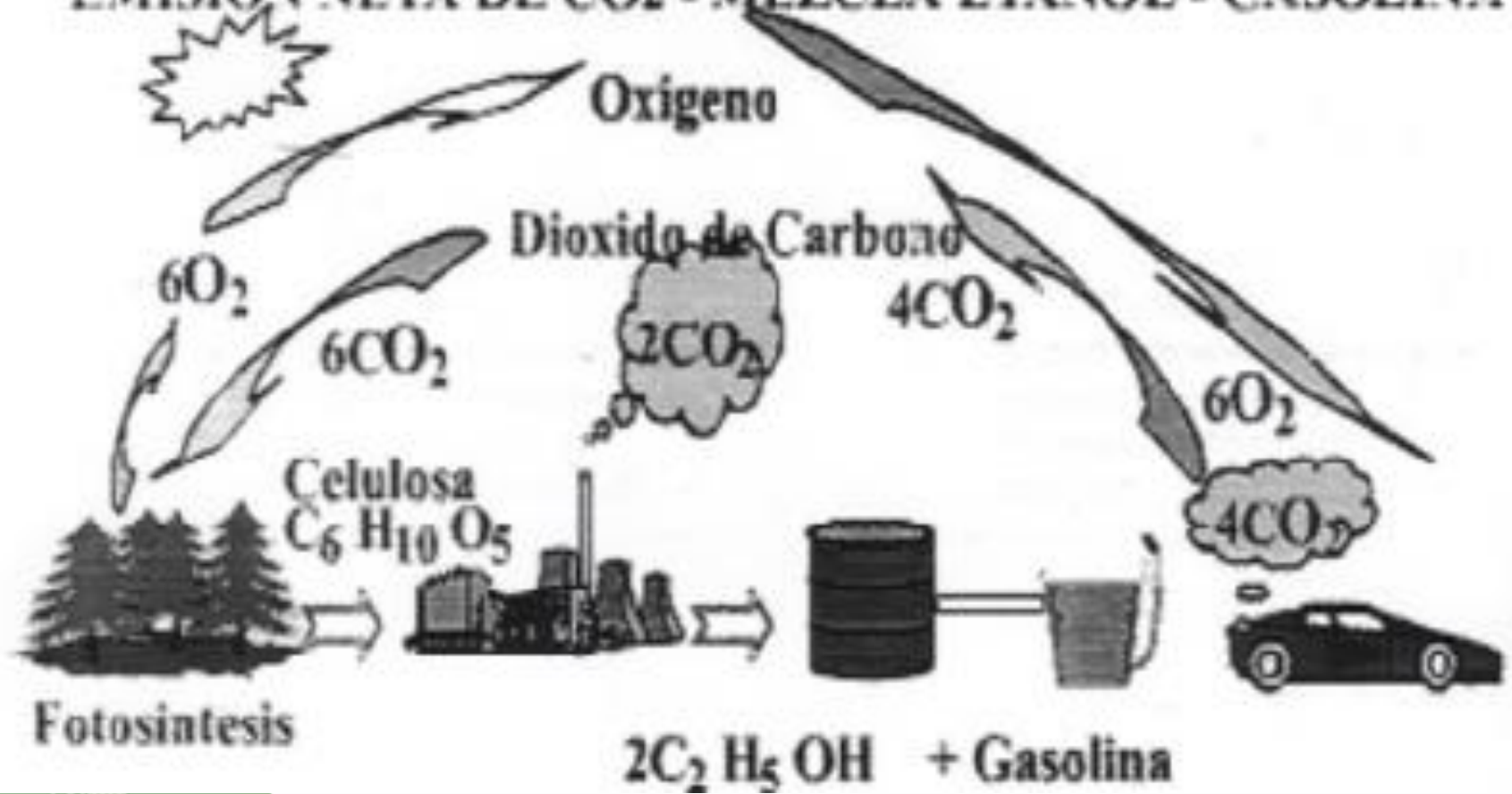
## Diagrama básico de un material lignocelulósico



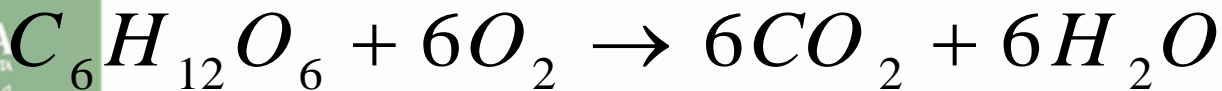
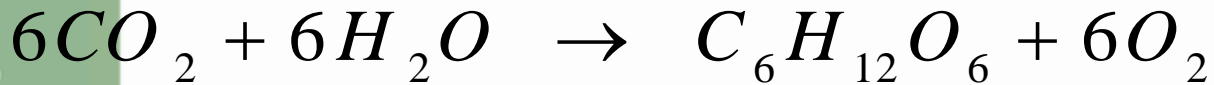
# Estructura de la lignina de madera de haya



# EMISION NETA DE CO<sub>2</sub> - MEZCLA ETANOL - GASOLINA



*luz solar*





# CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Los parámetros más importantes de caracterización de la biomasa como materia prima para la producción de biocombustibles están relacionados con sus características físicas, (en especial su contenido de humedad ,el tamaño de la partícula, la densidad) y las propiedades químicas (composición, estructura).



MIDEAM

**caem**  
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

**CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

# ANÁLISIS PRÓXIMO

El propósito principal del análisis próximo es establecer el contenido de ceniza y humedad del combustible. El balance de combustibles puede ser subdividido en los volátiles, que salen de la pirolisis de la biomasa (**materia volátil**) y el carbonizado remanente (**carbón fijo**).



# DENSIDAD GRANEL

La densidad a granel de un sólido puede ser definida como el peso del material empacado en un metro cúbico sin ser apretado. Es muy deseable mejorar la calidad de los combustibles obtenidos de biomasa con baja densidad a granel. Uno de los métodos empleados es la densificación del material.



# Valor de densidad a granel de diferentes biomasas

| Material bimásico                    | Densidad a granel<br>Kg/m <sup>3</sup> mat. seco | Ref.         |
|--------------------------------------|--|--------------|
| Aserrín                              | 100-150  | Kaupp y Goss |
| Carbón de madera dura                | 220  | Kaupp y Goss |
| Carbón de madera blanda              | 150  | Kaupp y Goss |
| paja                                 | 80   | Kaupp y Goss |
| Cascarilla de arroz                  | 100  | Kaupp y Goss |
| Cascarilla de arroz (en cubos)       | 680  | Kaupp y Goss |
| Cáscara de coco en trozos            | 330  | Maniatis     |
| Coir de coco                         | 45   | Maniatis     |
| Vainas de palma de aceite            | 442  | Maniatis     |
| Madera de caucho en trozos           | 140  | Maniatis     |
| Madera Meranti en trozos 15x20x2mm   | 160  | Maniatis     |
| Madera Jeunging en trozos 15x20x2mm  | 102  | Maniatis     |
| Madera de pino en trozos 15x20x2mm   | 152  | Maniatis     |
| Madera de acacia en trozos 15x20x2mm | 170  | Maniatis     |
| Turba (Borneo)                       | 346  | Maniatis     |



**DENSIDAD APARENTE:** No tiene en cuenta los espacios entre las partículas, pero si el de los poros

 **DENSIDAD VERDADERA:** No tiene en cuenta el volumen ocupado por los poros (poros, microporos y nanoporos)



## • HUMEDAD

La propiedad física más importante de la biomasa con relación al proceso de transformación termoquímica es el contenido de humedad. El término del combustible, la humedad de la biomasa puede considerarse un componente indeseable, el cual debe ser removido para lograr un uso práctico. En general se consideran dos definiciones del contenido de humedad de una biomasa según si el combustible se toma seco o húmedo.



**caem**  
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
Fili | Cámara de Comercio de Bogotá

**CB CAMARA**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

## HUMEDAD:

Cantidad de agua que posee la biomasa

$$\textit{Humedad} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Se procesa a una temperatura entre  
por un mínimo de 2 horas

106 y 115 °C





✓ Ceniza: a  $900^{\circ}C$

$$Ceniza = \frac{m_i - m_f}{m_i} = a_n$$

Siendo  $a_n$  la ceniza normal, tiempo 2 horas



✓ Volátiles: a  $915^{\circ}C$  por un espacio de 7 minutos



$$Volátiles = \frac{m_i - m_f}{m_i} = m_{vol}$$

✓ Carbono fijo:

$$Carbono\ fijo = 1 - m_{vol}$$



# Contenido de humedad de biomásas frescas

| Material                           | Humedad<br>% base húmeda |
|------------------------------------|--------------------------|
| Madera                             | 45-65                    |
| Tallo de banano                    | 85-90                    |
| Lilias de agua                     | 90-95                    |
| Jacintos de agua                   | 87-93                    |
| Tallos de algodón                  | 35-45                    |
| Cascarilla de café                 | 65-75                    |
| Paja                               | 30-40                    |
| Turba                              | 40-70                    |
| <b>Basura sólida urbana</b>        |                          |
| En países en desarrollo            | 70-85                    |
| Europa occidental y Estados Unidos | 25-50                    |



# ANALISIS ULTIMO

Por medio del análisis último puede determinarse la fórmula de composición del combustible, convirtiendo el peso en % a moles y luego dividiendo el número de moles de los otros elementos (**H, O, N y S**) por las moles de carbón. Determinar la fórmula es útil para establecer el balance de masa, pero no da información sobre la estructura química.



# Análisis último para algunos combustibles sólidos de biomasa y para materiales de biomasa

| Material                     | C    | H   | N   | S   | O    | Ceniza | Poder calorífico Superior HVV |        |
|------------------------------|------|-----|-----|-----|------|--------|-------------------------------|--------|
|                              | %    | %   | %   | %   | %    | %      | MJ/kg                         | BTU/lb |
| <b>Residuos</b>              |      |     |     |     |      |        |                               |        |
| Cáscara de arroz             | 38.5 | 5.7 | 0.5 | 0.0 | 39.8 | 15.5   | 15.3                          | 6.61   |
| Paja de arroz                | 39.2 | 5.1 | 0.6 | 0.1 | 35.8 | 19.2   | 15.8                          | 6.54   |
| Pellet de aserrín            | 47.2 | 6.5 | 0.0 | 0.0 | 45.4 | 1.0    | 20.5                          | 8.81   |
| Papel                        | 43.4 | 5.8 | 0.3 | 0.2 | 44.3 | 6.0    | 17.6                          | 7.57   |
| Residuo de secoya            | 53.4 | 6.0 | 0.1 | 0.1 | 39.9 | 0.6    | 21.3                          | 9.16   |
| Residuo de roble             | 49.5 | 5.7 | 0.2 | 0.0 | 41.3 | 3.3    | 19.2                          | 8.26   |
| Residuos animales            | 42.7 | 5.5 | 2.4 | 0.3 | 31.3 | 17.8   | 17.1                          | 7.38   |
| Residuos sólidos municipales | 47.6 | 6.0 | 1.2 | 0.3 | 32.9 | 12.0   | 19.8                          | 8.54   |



# PODER CALORÍFICO

El poder calorífico superior incluye el calor latente de la condensación del agua, mientras el poder calorífico inferior no lo tiene en cuenta. Teniendo en cuenta que el calor latente se recupera muy pocas veces, es más realista realizar los cálculos del combustible tomando como base el poder calorífico inferior, sin embargo, los reportes experimentales reportan generalmente los valores del poder calorífico superior.

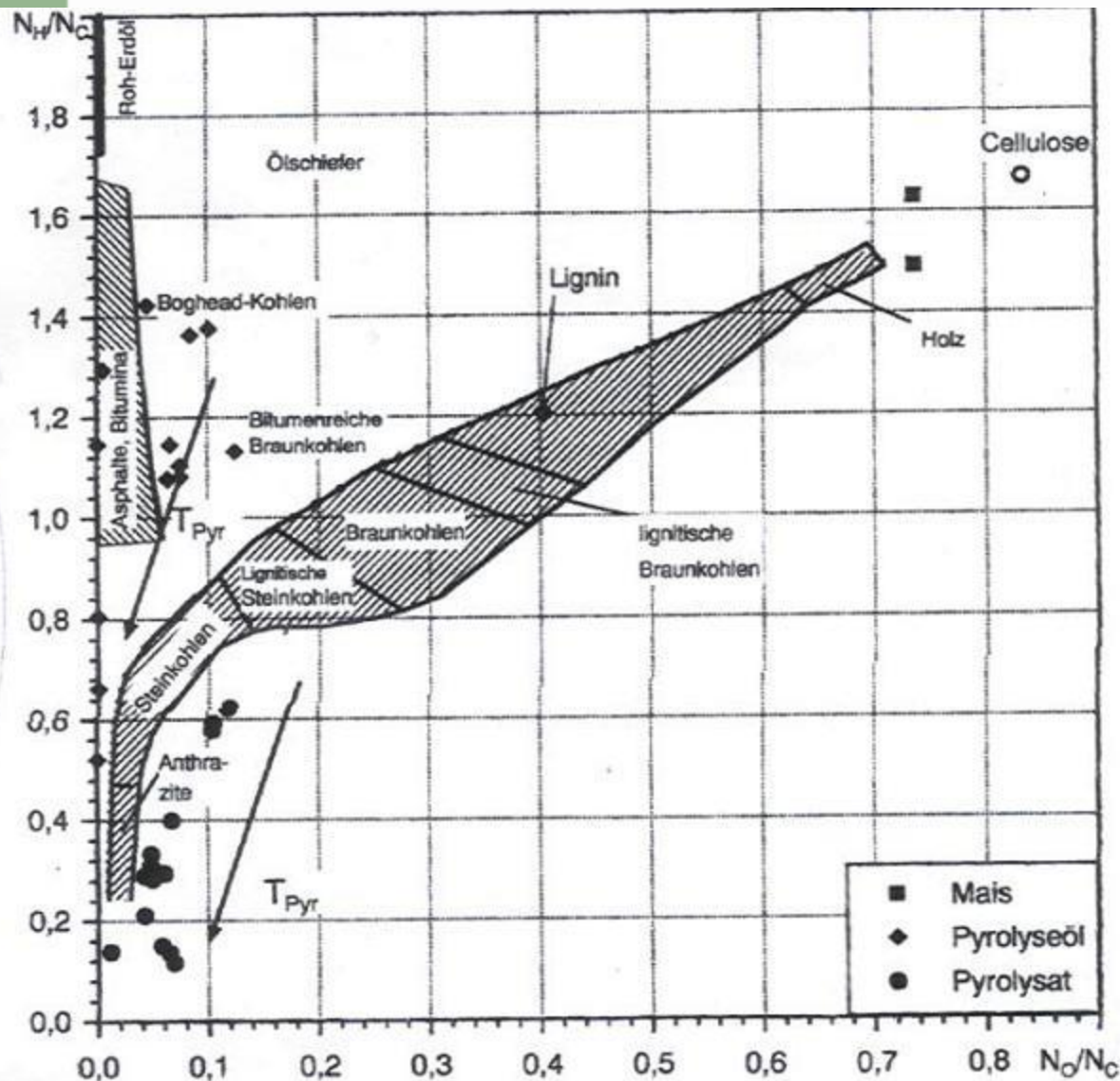


DIAGRAMA DE VAN KREVELEN

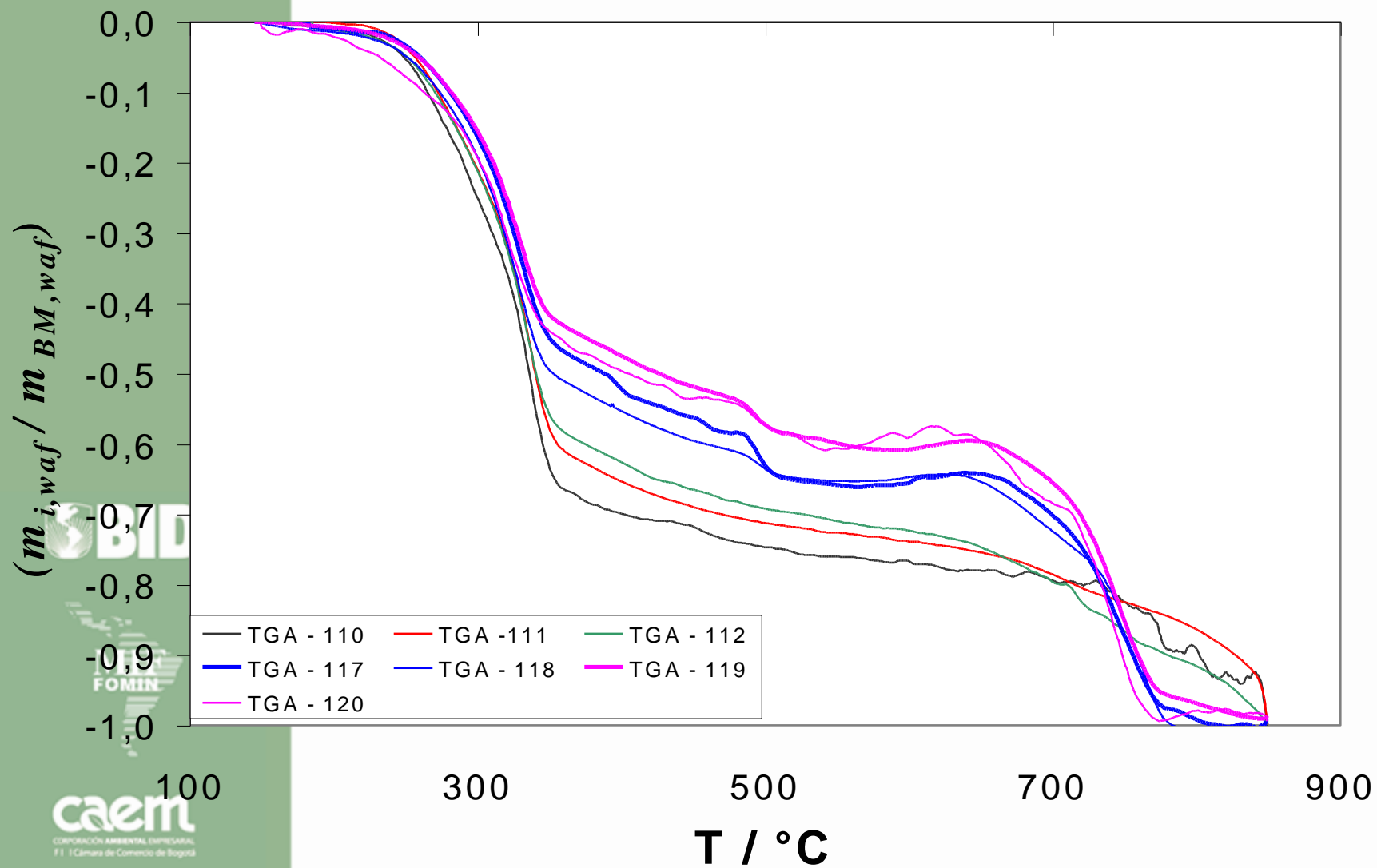


# PROCESOS DE TRANSFORMACION DE BIOMASA

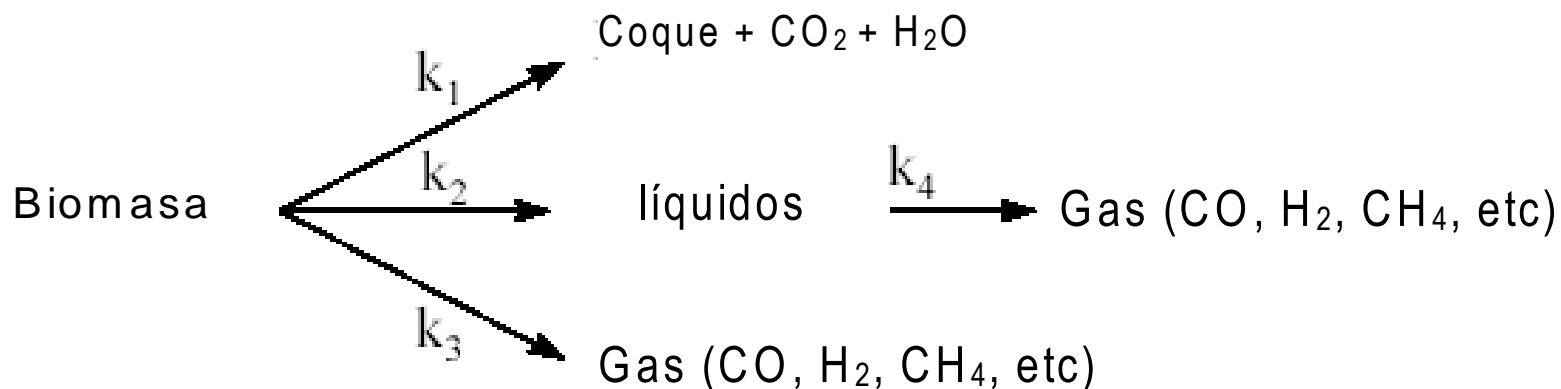


# Características más importantes de los procesos de transformación termo-química de la madera.

| Proceso             | Aire suministrado<br>$\lambda$ | Temperatura<br>°C | Producto principal               | Posibilidades de uso del producto principal  |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|--|
| <b>Combustión</b>   | $>1$                           | 800-1300          | Gas de escape caliente           | Calentamiento de agua, vapor y gas caliente. El vapor y el gas caliente para ser usados en generación eléctrica.                     |
| <b>Gasificación</b> | $0,2 < \lambda < 0,5$          | 700-900           | Gas de alto valor energético     | Combustible para motores y turbinas de gas, gas de síntesis (como base de partida para Treibstoff o metano) y celdas de combustible. |
| <b>Pirólisis</b>    | $0 < \lambda < 0,2^{**}$       | 400-700           | Líquido de alto poder energético | Combustibles para motores Diesel o turbinas de gas. El gas se usa en procesos internos. Carbón como producto secundario.             |



## Esquema cinético de la descomposición de la biomasa lignocelulósica por pirólisis.



Energía de activación  $E_1 < E_2 < E_3$  ( $k_4$  es muy lenta a temperatura  $< 650^\circ\text{C}$ )

# COMBUSTION

Se conoce como la reacción entre un material combustible con aire u oxígeno con al menos la cantidad teórica de material requerida (estereométrica o combustión aire-saturado), en la cual los productos principales son agua y dióxido de carbono. Generalmente se requiere aire adicional o en exceso sobre la cantidad estereométrica para asegurar una reacción completa.



# PIROLISIS

Por pirólisis se entiende la degradación de la materia orgánica en ausencia de aire o de oxígeno (atmósfera anaeróbica). Durante el proceso de pirólisis los volátiles son conducidos, debido a los efectos térmicos, fuera del sustrato, dando como resultado del proceso material carbonizado, líquidos condensables o alquitranes y productos gaseosos





# GASIFICACION

La gasificación se define como la descomposición térmica (pirólisis) de los residuos sólidos y líquidos de la materia orgánica usando como medio gasificador reactantes oxidantes, para generar principalmente productos gaseosos de bajo peso molecular. El término gasificación se usa de manera más amplia para referirse a procesos conducidos a alta temperatura, en los cuales un medio oxidante reacciona con un combustible sólido para generar su conversión casi completa a un producto combustible gaseoso. El principal objetivo de la gasificación es el de transferir la máxima energía química utilizable del material alimentado a la fracción gaseosa de los productos obtenidos. Los oxidantes comúnmente utilizados son aire, oxígeno y vapor de agua, sin embargo también puede emplearse hidrógeno y dióxido de carbono



# LICUEFACCION

LICUEFACCION TERMICA (PIROLISIS)

FERMENTACION



ESTERIFICACION



## CARBONIZACION

La carbonización es un proceso de pirólisis que maximiza la producción de carbonizado. Puede darse operando a baja temperatura y a velocidad de reacción lenta o teniendo como aspecto principal las cualidades específicas del carbonizado como en la coquización a alta temperatura.



# INCINERACION

el proceso por medio del cual se reducen los residuos combustibles a residuos inertes a través de altas temperaturas de quemado. Literalmente, incineración significa “conversión a brasas o cenizas” pero también se utiliza para la combustión de gran variedad de residuos, incluyendo efluentes líquidos y gaseosos, los cuales dejan muy poco o ningún residuo.

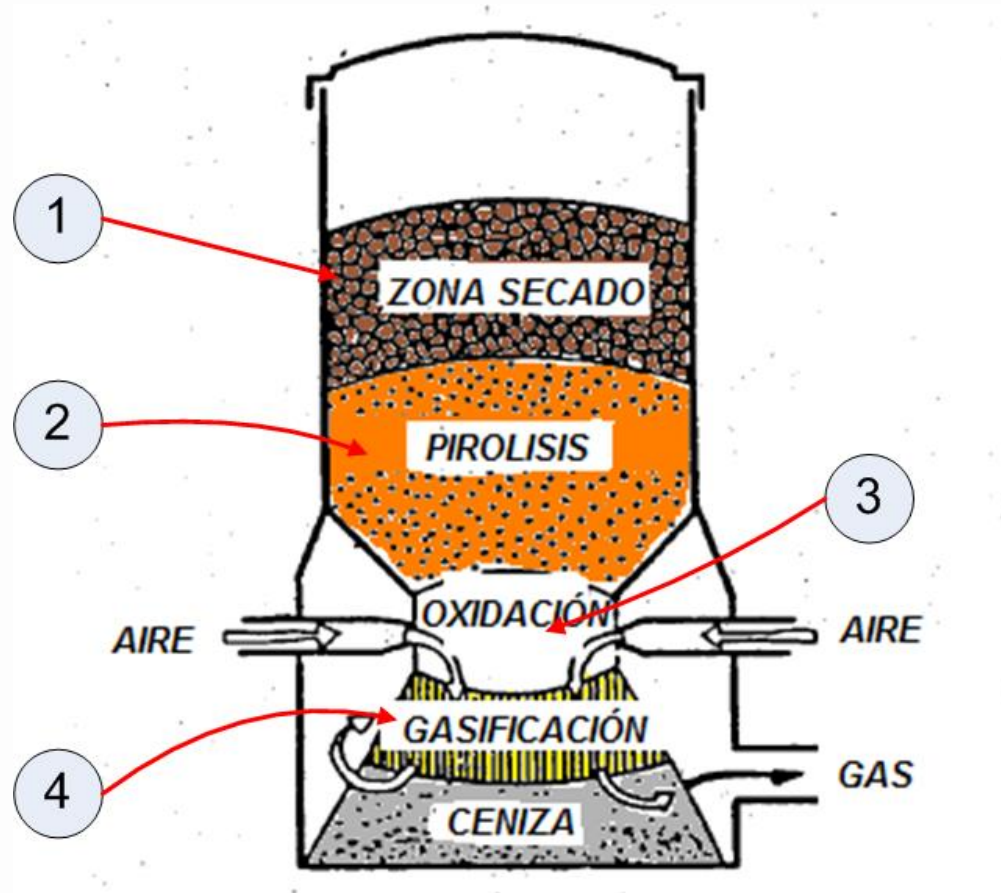


# GASIFICACION DE BIOMASA

La gasificación es la degradación térmica de materiales carbónicos en un ambiente oxidante limitado. El proceso se basa fundamentalmente en la reacción química entre el carbono y uno o más de los siguientes cuatro gases: oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono y/o hidrógeno.

# Gasificador de corriente descendente.

EL PROCESO SE DESARROLLA EN CUATRO ETAPAS



# AGENTE GASIFICANTE

- Con aire: la reacción de combustión parcial con el aire da lugar a una reacción exotérmica que produce un gas de bajo poder calorífico, el cual puede ser aprovechado con fines de carácter energético.
- Con oxígeno: se produce un gas de poder calorífico medio, pero de mayor calidad al no estar diluido con Nitrógeno. Además de aplicaciones de carácter energético, puede utilizarse como gas de síntesis para la obtención de metanol.



- Con vapor de agua y/o oxígeno ( o aire): se produce un gas enriquecido en H<sub>2</sub> y CO que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos (amoníaco, metanol, gasolina, etc.).
- Con hidrógeno: se produce un gas de alto contenido energético que, por tener altos porcentajes de metano, puede utilizarse como sustituto del gas natural.



## Factores de operación

Los factores de operación que tienen mayor incidencia en el proceso de gasificación son:

- la temperatura
- la presión
- la relación agente gasificante / residuo.



# Reacciones de gasificación

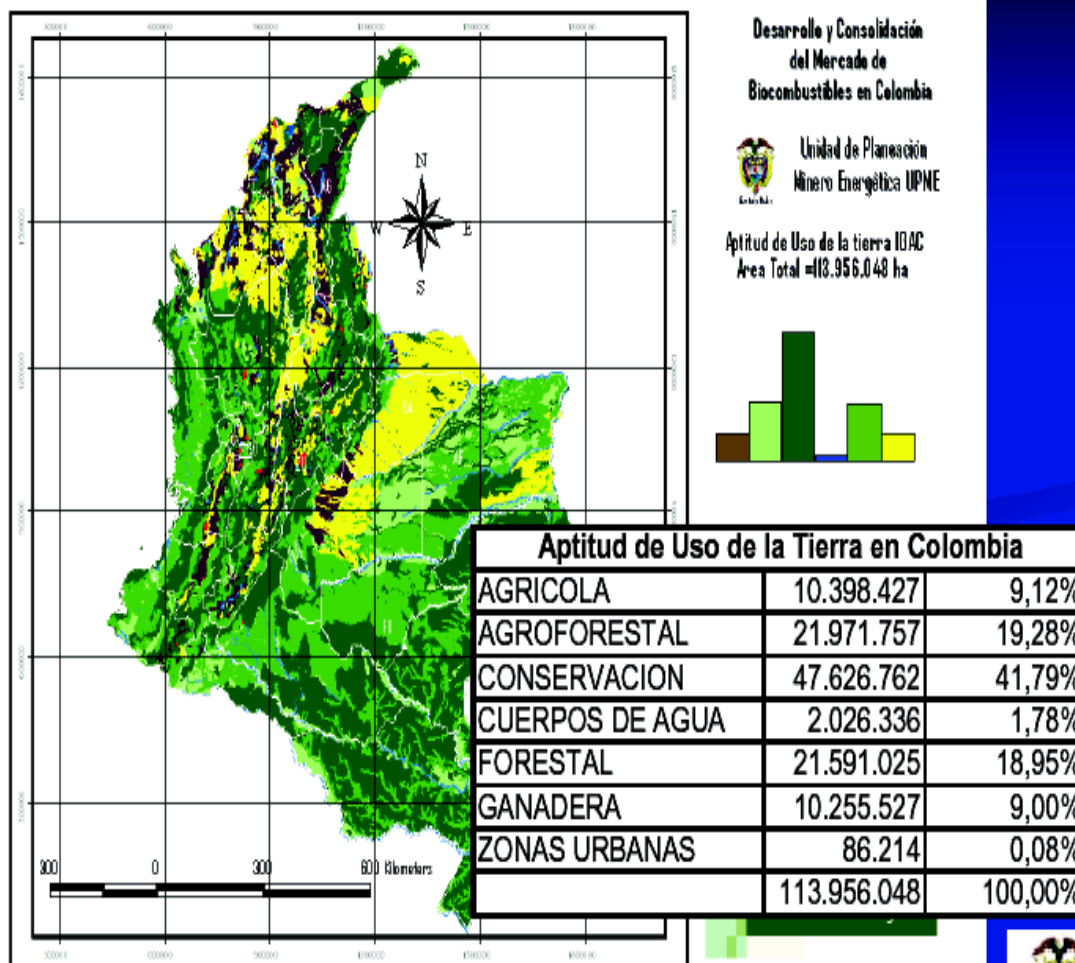
## Reacciones generales de un proceso de gasificación de biomasa

|   | Reacción               | Fórmula  |                      | Proceso   | $\Delta H$<br>kJ/mol         |
|---|------------------------|--|----------------------|---|------------------------------|
| 1 | Oxidación Heterogénea  | $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$  | R1<br>R2             | Combustión<br>Combustión parcial  | -393<br>-110                 |
| 2 | Equilibrio Heterogéneo | $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$ $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$ $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$   | R3<br>R4<br>R5       | Bouduard<br>Reacción agua-gas heterogénea<br>Gasificación hidrogenada                   | +172<br>+131<br>-75          |
| 3 | Oxidación Homogénea    | $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ $CH_4 + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow CO + 2H_2O$ | R6<br>R7<br>R8<br>R9 | CO-Oxidación<br>Metanización<br>Oxidación en presencia de hidrógeno<br>Metano-oxidación | -283<br>-206<br>-242<br>-519 |
| 4 | Equilibrio homogéneo   | $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$   | R10<br>R11           | Reacción agua-gas   | -41<br>-206                  |



# BIOMASA CASO COLOMBIA

## Aptitud de Uso de la Tierra



nombre del área.

# Aspectos teóricos

## Eficiencia energética

| Cultivo  | Eficiencia energética<br>(energía<br>producida/energía<br>requerida) |
|----------|--|
| Palma    | 6.6  |
| Jatropha | 5.0  |
| Colza    | 1.7  |
| Soya     | 3.2  |

| Cultivo     | Eficiencia energética<br>(energía<br>producida/energía<br>requerida) |
|-------------|--|
| Caña        | 8.3  |
| Yuca        | 1.2  |
| Remolacha   | 1.5  |
| Sorgo dulce | 2.9  |
| Maíz        | 1.7  |

# BIOGAS



## Depuradora Aguas



## Relleño Sanitario



## Biomasa: Agrícolas/Ganaderos

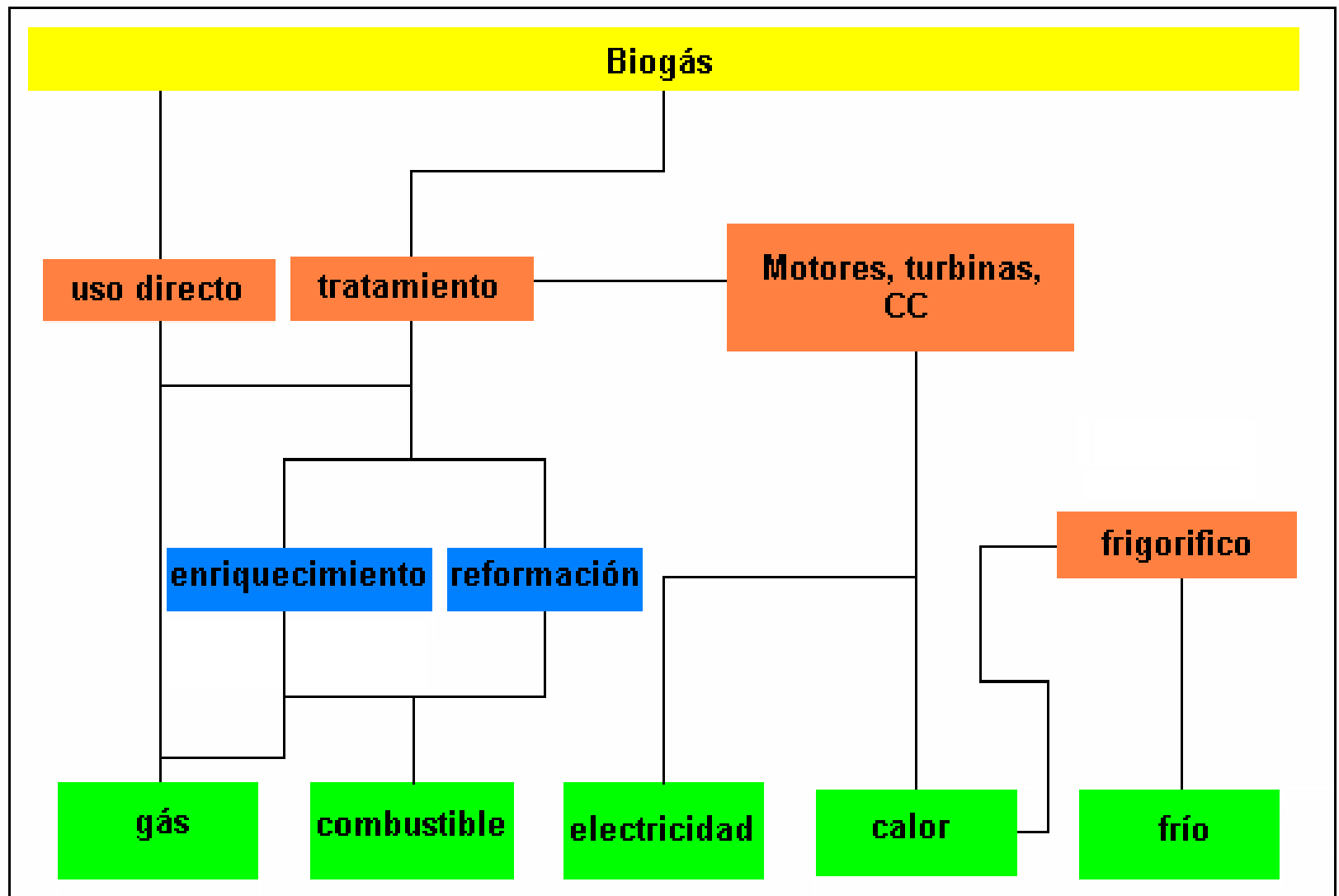


## Biomasa: Compostaje; Alimentos





# Aplicaciones de la digestión anaeróbica

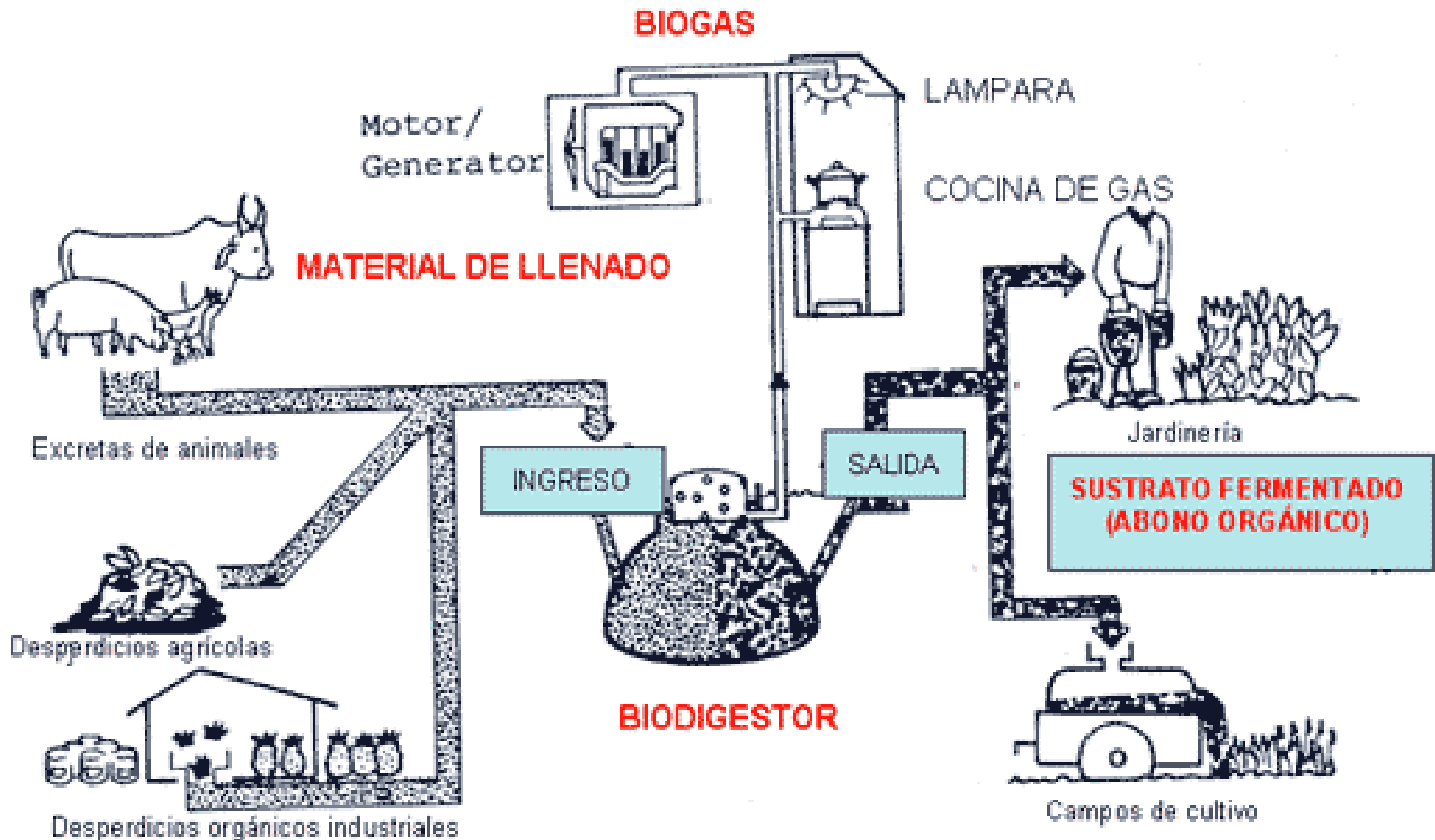


CONSEJO  
FACULTAD

88

Por nuestra sociedad

# CICLO DE LA BIOMASA EN UN BIODIGESTOR



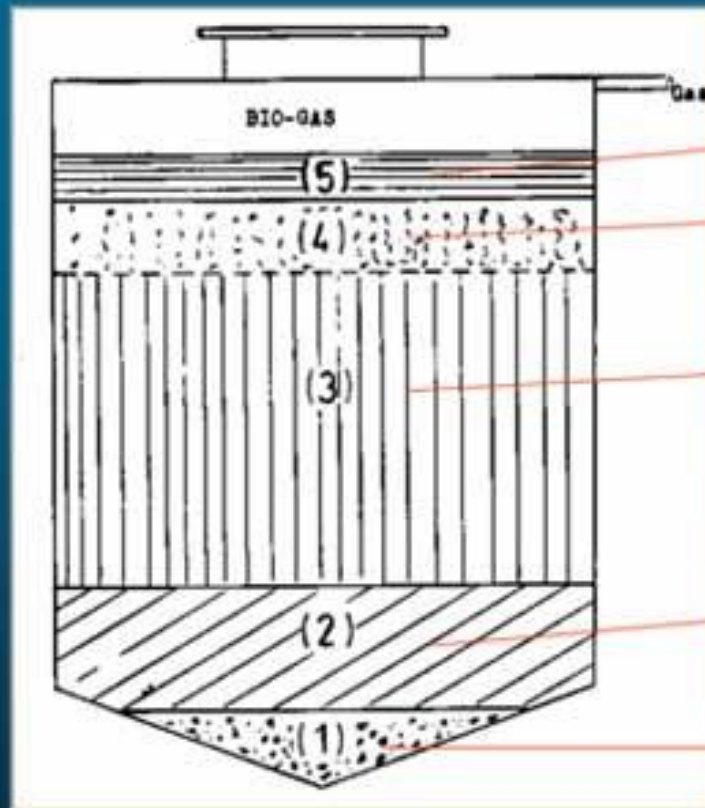
# BIODIGESTORES

## Clasificación de los Biodigestores:

- Flujo discontinuo, estacionarios o tipo Batch
- Flujo continuo
  - Biodigestor de cúpula fija o tipo chino
  - Biodigestor de cúpula móvil o tipo hindú
  - Biodigestor de estructura flexible



# BIODIGESTOR BATCH



Costras flotantes

Agua de fermentación

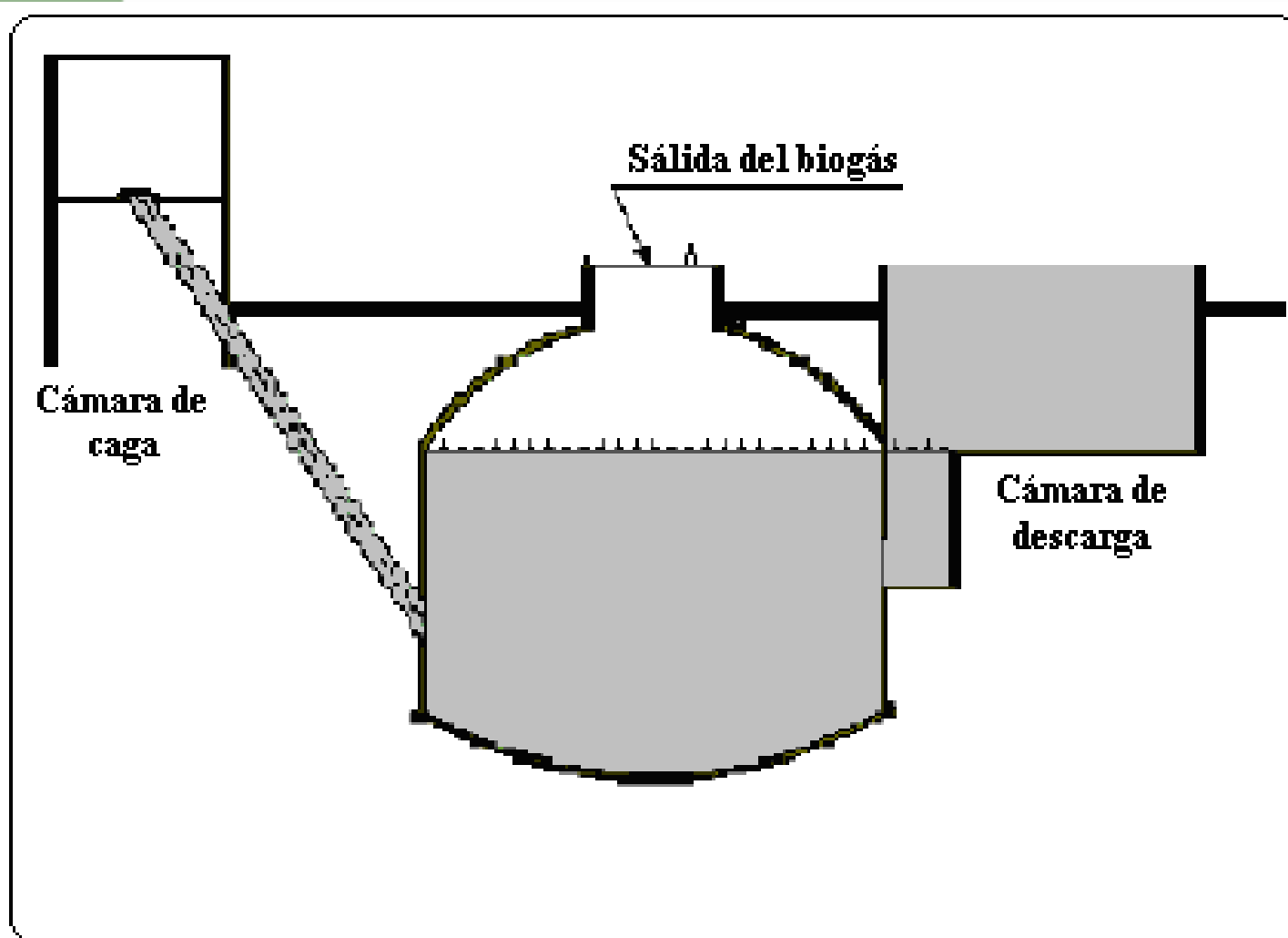
sustrato activo

Sustrato  
fermentado

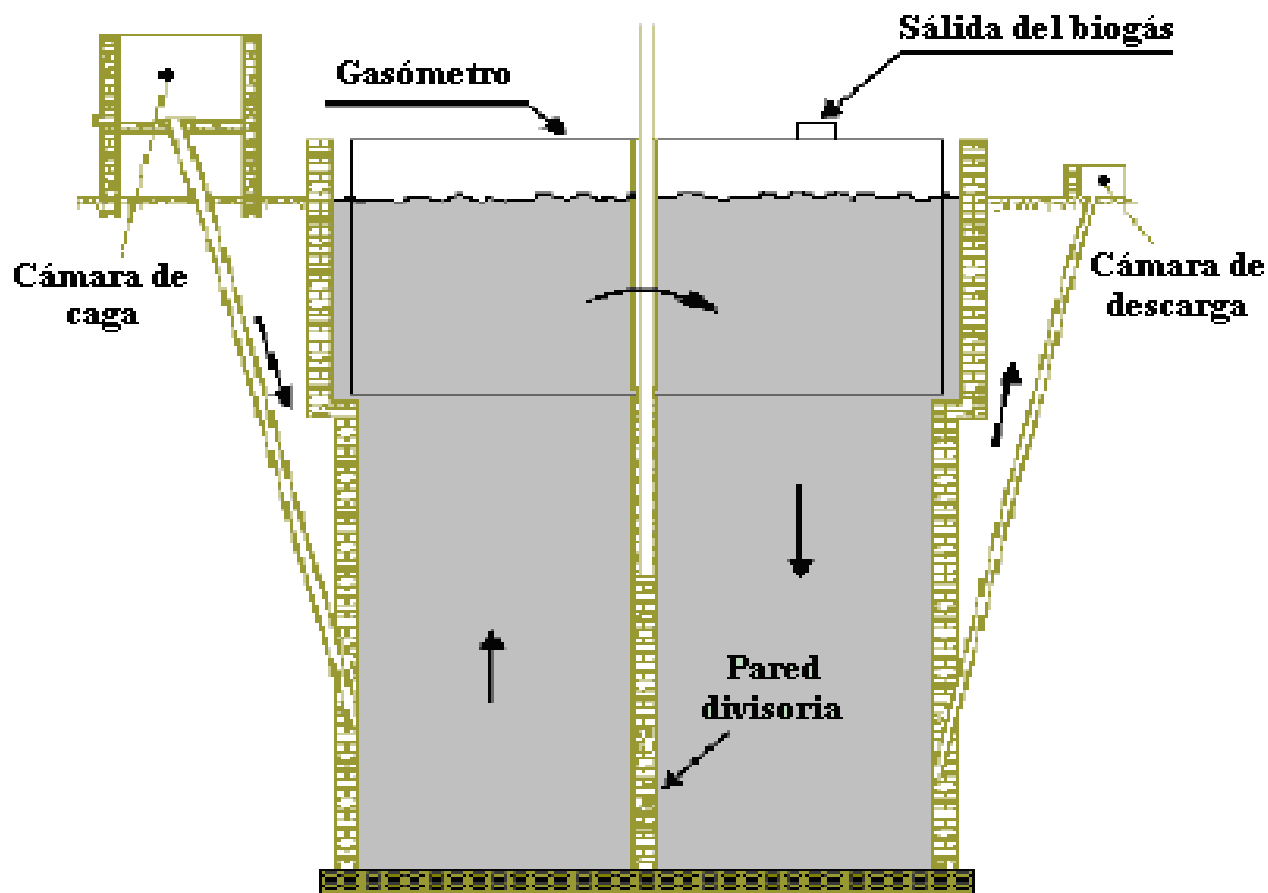
Arena y  
Piedras



# BIODIGESTOR MODELO CHINO



# BIODIGESTOR MODELO HINDÚ



# Biodigestores actuales



M  
FO

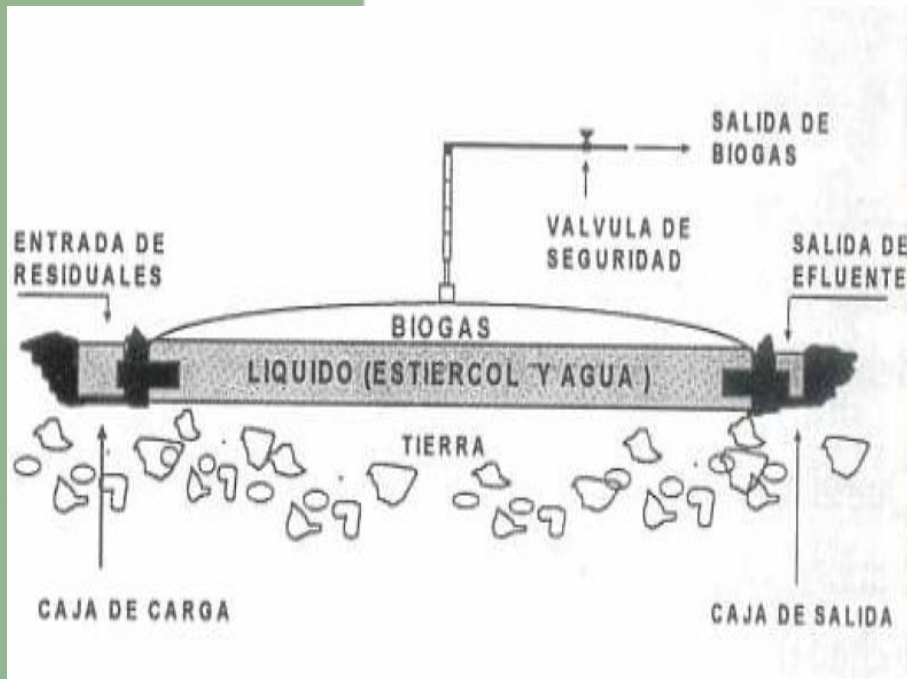
CA

CORPORACIÓN AGRARIA  
FIJ. Cámara de C

CB  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad



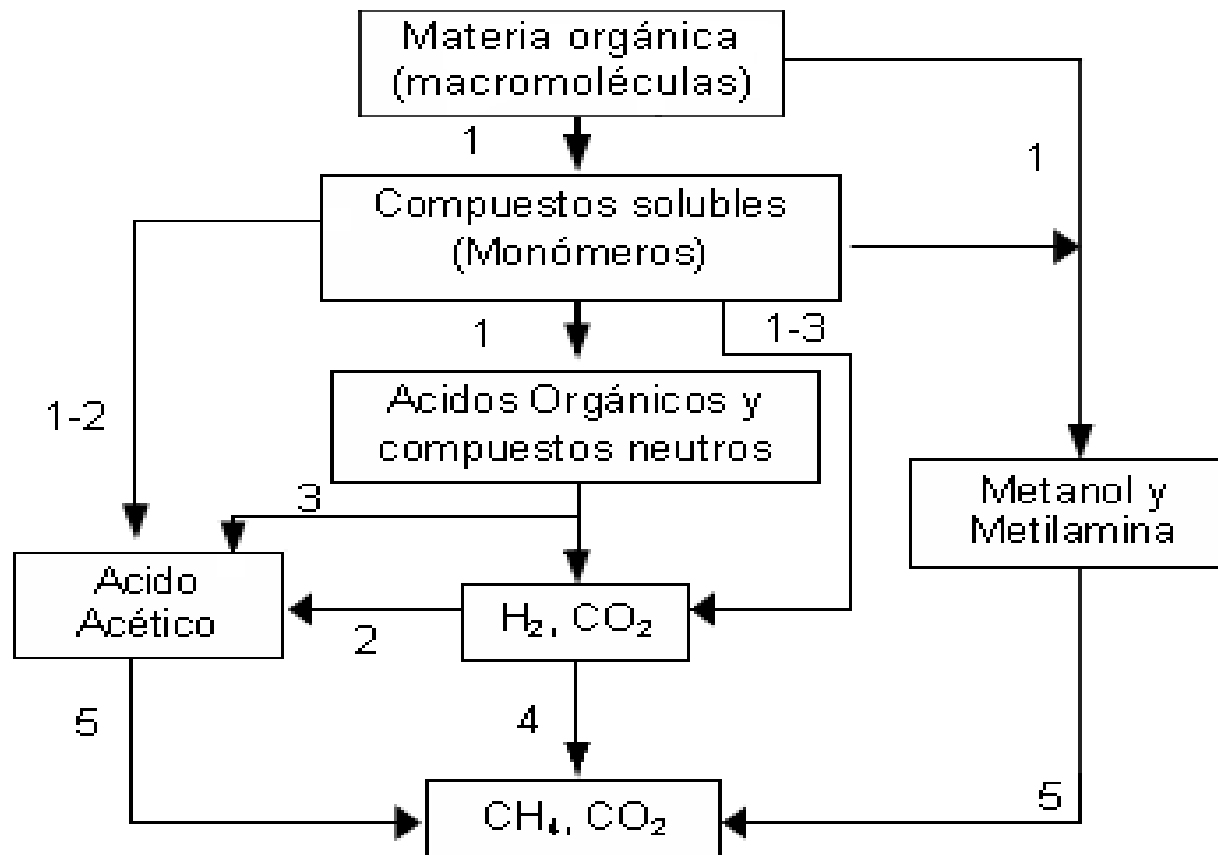
# Biodigestor flexible



# BIODIGESTOR PLASTICO

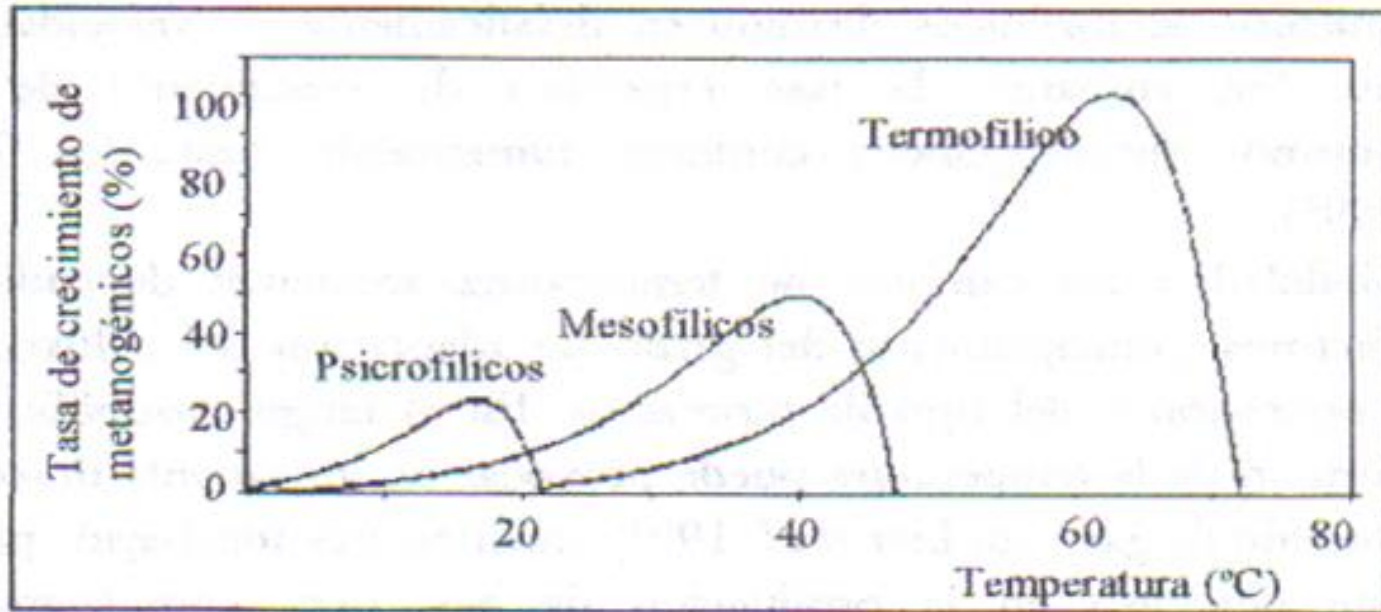


# ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA



1. Bacterias hidrolíticas-acidógenas.
2. Bacterias homoacetógenas.
3. Bacterias acetógenas.
4. Bacterias metanógenas.
5. Bacterias metanógenas acetoclásticas.

# Rangos de temperaturas



# PROYECTOS GRUPO DE INVESTIGACION MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO Y GESTION ENERGETICA- UNUIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



# COCINA SOLAR

Superficie  
Absorbedora(Sa)



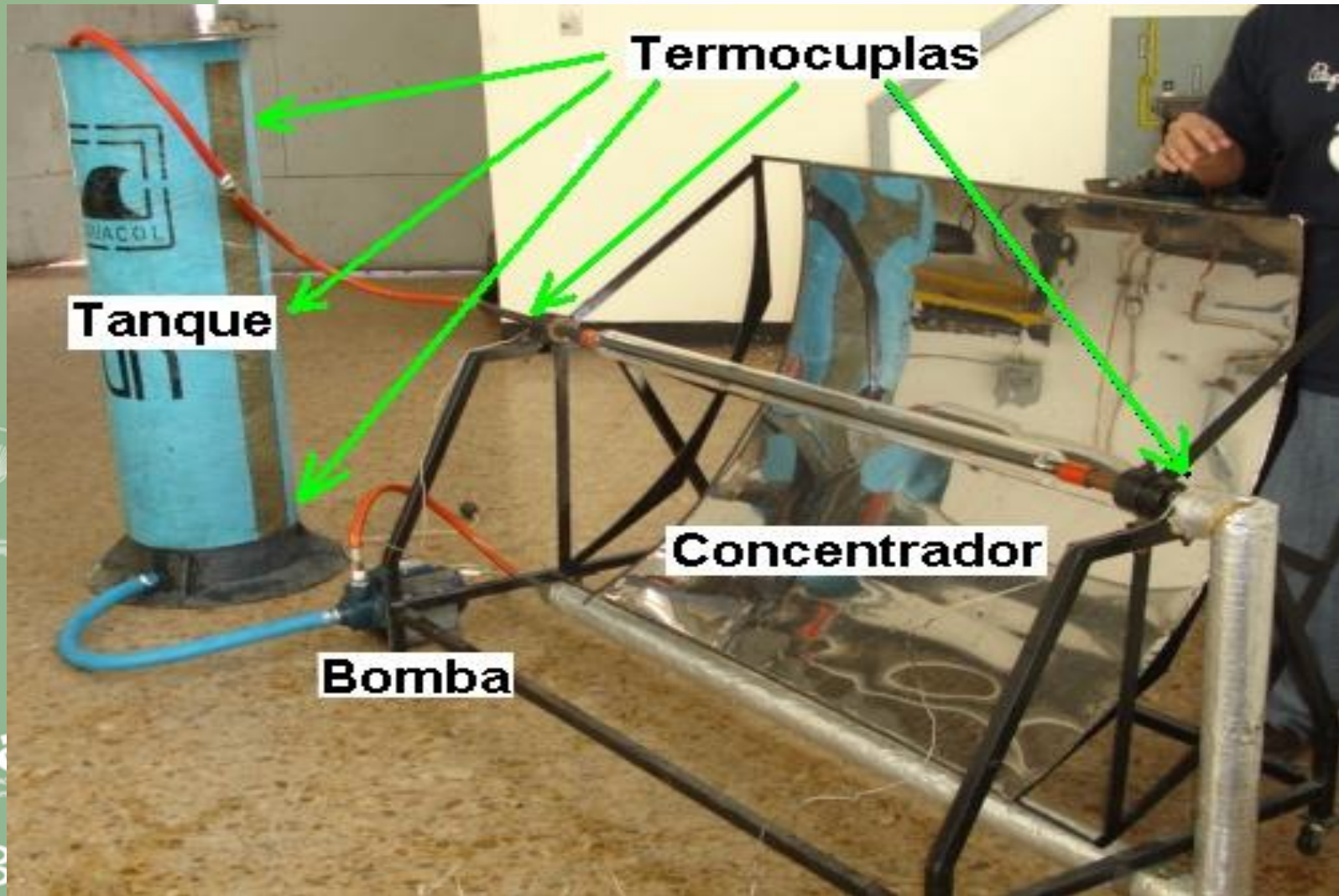
Superficie  
de captación(Sc)

• Razón de concentración geométrica =  $Sc/Sa$





# CONCENTRADOR PARABÓLICO LINEAL



CC  
CORPORACIÓN  
FILIAR



Por nuestra sociedad



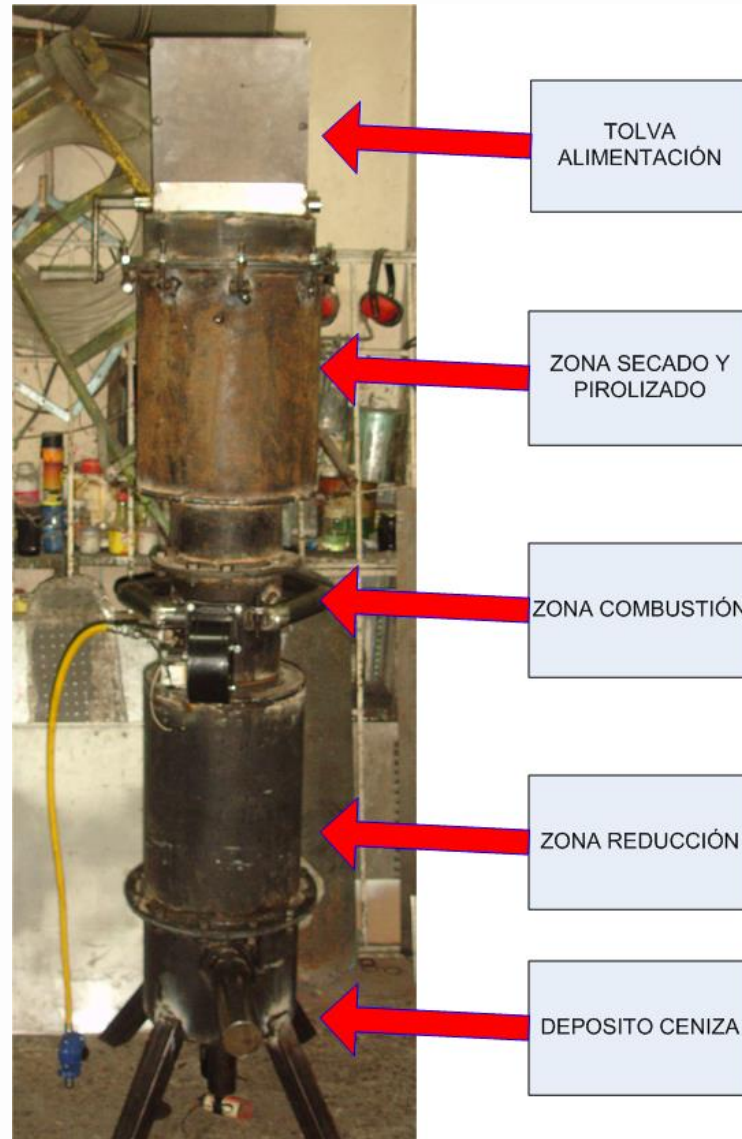
# CALENTADOR DE AGUA POR TERMOSIFÓN







# GASIFICADOR LABORATORIO DE PLANTAS TERMICAS



# EXPERIMENTACION EN HORNO ROTATORIO



 **BID**

 **MIF  
FOMIN**

**caem**  
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL  
F1 | Cámara de Comercio de Bogotá

 **CAMAR**  
DE COMERCIO DE BOGOTÁ  
Por nuestra sociedad

# EQUIPO DE EXPERIMENTACION



BIODIGESTOR



CARGA DEL SUSTRATO

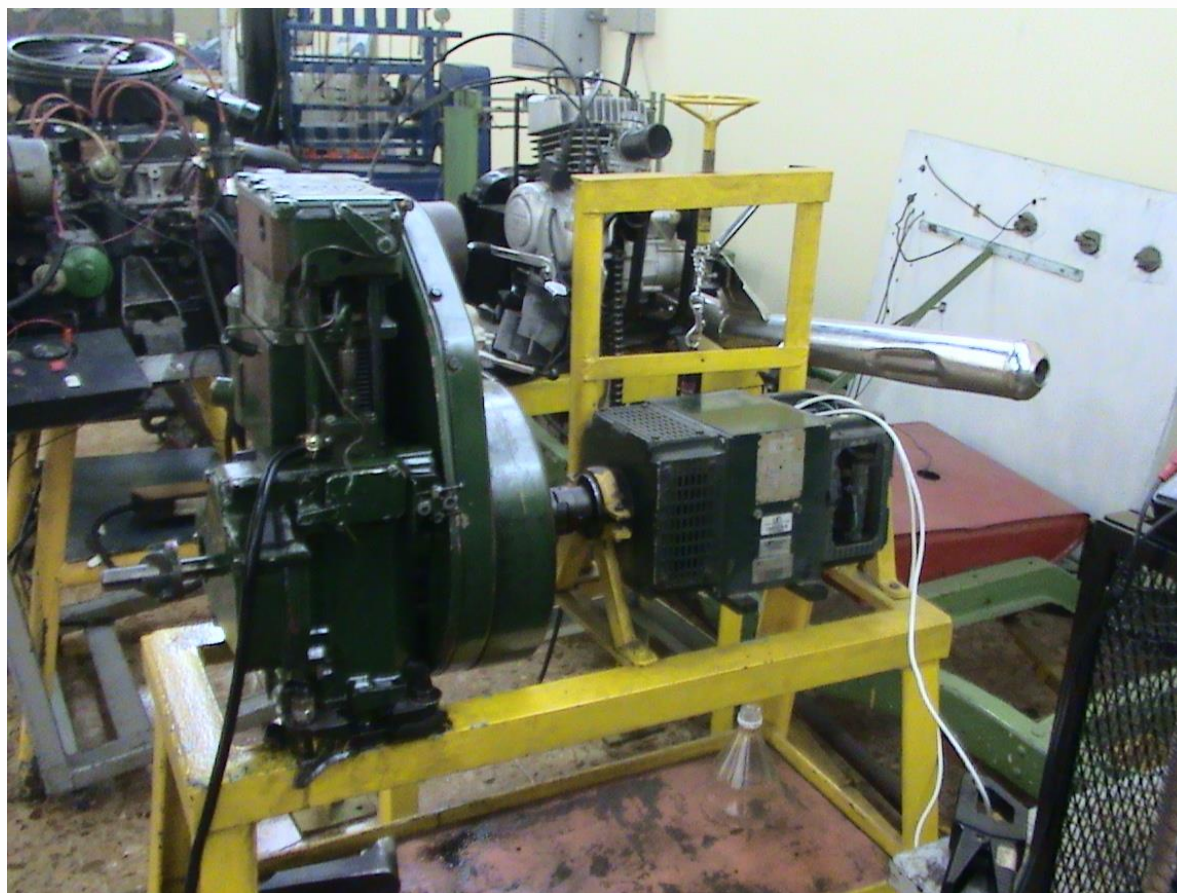


RECOLECCION DEL GAS





# PRODUCCION Y USO DE BIODIESEL



# GRACIAS



**GRUPO DE INVESTIGACION EN MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO Y  
GESTION ENERGETICA**



**Dr.- Ing. Msc FABIO SIERRA**

**LABORATORIO PLANTAS TÉRMICAS**

**INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA**

**E-mail: [fesierrav@unal.edu.co](mailto:fesierrav@unal.edu.co); [fabiosierra@yahoo.com](mailto:fabiosierra@yahoo.com)**

**Tel. 3165000 ext. 11130 - 14062**